DIE

MECHANIK DES WELTALLS

DIE

MECHANIK DES WELTALLS

IN IHREN GRUNDZÜGEN DARGESTELLT

VON

DR. L. ZEHNDER,

A. O. PROFESSOR FÜR PHYSIK AN DER UNIVERSITÄT FREIBURG I. B.

FREIBURG I. B.
LEIPZIG UND TÜBINGEN
VERLAG VON J. C. B. MOHR (PAUL SIEBECK)
1897.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort.

Am 14. Juli 1891 trug ich der philosophischen Fakultät der Universität Freiburg i. B. in meiner Habilitationsvorlesung: über das Wesen der Elektrizität eine neue sehr einfache Hypothese vor, welche ich einige Jahre vorher mir gebildet und aus welcher ich viele bekannte Erscheinungen zu entwickeln versucht hatte. H. v. Helmholtz schrieb in einer Vorrede zu W. Thomsons und Taits Treatise on Natural Philosophy: „Nach der bisherigen Ansicht der besseren Naturforscher war die deduktive Methode nicht bloss berechtigt, sondern sogar gefordert, wenn es sich darum handelte, die Zulässigkeit einer Hypothese zu prüfen.“ Eine solche Erwägung bestimmte mich, meine Hypothese bis in ihre Konsequenzen zu verfolgen. Dabei ergaben sich merkwürdig einfache Beziehungen, zahlreiche Aufschlüsse in den verschiedensten Gebieten der Physik, und weittragende Ausblicke auch in die Gebiete der Chemie, der Astronomie, der Meteorologie, der Geologie und anderer der Physik verwandter Disziplinen. So rasch erweiterte sich der Gesichtskreis von dem gewonnenen Standpunkte aus, dass ich glaube, den Fachgenossen in diesem kleinen Buche meine Hypothese vortragen zu dürfen. In der That scheinen sich mit derselben alle physikalischen Vorgänge in wunderbarer Harmonie aus wenigen einfachen Grundannahmen abzuleiten.

Freiburg i. B., den 20. April 1897.

Der Verfasser.

Inhalt.

Einleitung.

Seit langer Zeit haben sich denkende Menschen das Ziel gesteckt, die Naturerscheinungen zu verstehen, ihren Zusammenhang zu ergründen. Schon im grauen Altertume knüpften Chinesen, Babylonier, Aegypter astronomische Weltbetrachtungen an die Sonnen- und Mondfinsternisse an; einige unter ihnen hatten nicht ganz unrichtige Vorstellungen von der Gestalt der Erde, von der Ursache jener Finsternisse. Es waren späterhin insbesondere die Griechen, deren Denken darauf gerichtet war, die beobachteten Naturvorgänge aus mechanischen Bewegungen zu erklären. Mussten aber die dahin zielenden Versuche der griechischen Philosophen, unter denen Aristoteles am meisten hervortrat, nicht fehlschlagen, solange das Experiment, die methodisch geleitete Beobachtung und Untersuchung willkürlich hervorgebrachter Naturerscheinungen, noch nicht zur Ausbildung gelangt war? Einen grossen Vorteil haben die offenbaren Irrtümer der aristotelischen Naturphilosophie doch im Gefolge gehabt: sie bewirkten, dass künftighin das Experiment mehr und mehr zur Geltung kam, dass dasselbe die reinen Spekulationen der Philosophen wenigstens in Schranken hielt.

Der Ausbildung, wir dürfen sagen, der unbedingten Herrschaft des Experiments huldigt auch unsere Zeit. So weit vorgeschritten sind indessen unsere Kenntnisse zahlreicher Naturerscheinungen, dass den Versuchen, solche Erscheinungen auf mechanische Vorgänge zurückzuführen, die Berechtigung nicht mehr abgesprochen werden kann. Der mechanische Vorgang ist für unsere Erkenntnis der verständlichste. Heben wir ein Gewicht, so glauben wir Ursache und Wirkung deutlich zu erkennen. Wir üben ursächlich eine Kraft auf das Gewichtsstück

aus. Die Wirkung ist unmittelbar wahrzunehmen: das Gewicht wird gehoben, und damit ist unser Kausalitätsbedürfnis befriedigt — vorausgesetzt dass wir nicht das neue Ziel ins Auge fassen, das Wesen der Kraft selber zu ergründen.

An Versuchen, die beobachteten Naturerscheinungen ausschliesslich in mechanischer Weise zu deuten, hat es auch in neuerer Zeit nie gefehlt; im Gegenteil! Durch das Experiment wird Material gesammelt, und auf Grund desselben wird die Einreihung der Beobachtungen unter allgemeine Gesetzmässigkeiten, die Erklärung jener durch mechanische Vorgänge angestrebt. Diese Methode, zur Erkenntnis zu gelangen, die „induktive", ist die sicherere, sie lässt uns aber da im Stiche, wo wir mit Beobachtungen und Messungen nicht mehr weiter vorzudringen vermögen. Gefahrvoller ist die „deduktive" Methode, allgemeine Hypothesen aufzustellen und daraus die bekannten Erscheinungen abzuleiten; denn der Hypothesen giebt es unendlich viele! Wie gering muss da die Wahrscheinlichkeit sein gerade die richtigen Hypothesen herauszufinden, wenn nicht die induktive Methode wenigstens die Pfade geebnet hat, wenn nicht eine glückliche Intuition noch zu Hülfe kommt? Und doch *müssen* wir die deduktive Methode einschlagen, wenn wir das letzte Ziel des Naturforschers, die Erklärung aller Naturvorgänge mittels mechanischer Prinzipien durch Bewegungsvorgänge, jemals erreichen wollen! Wir müssen Hypothesen aufstellen, nicht eine, sondern viele; denn bald genug wird sich zeigen, dass wir manche Annahmen zu machen gezwungen sind, um auch nur unsere einfachsten Körper aufbauen zu können.

So wollen wir denn einen derartigen Versuch wagen! Dabei müssen wir, um nicht planlos vorzugehen, unter Befolgung der deduktiven Methode in die Aufstellung von Hypothesen selber Methode bringen. Wir müssen verlangen, dass für die Eigenschaften der Materie zuerst die *einfachste* mit den Experimenten verträgliche Annahme gemacht werde, und diese Materie muss ausser zusammengesetzten auch die *einfachsten* aller möglichen Bewegungen ausführen. **Diese Forderung grösster Einfachheit sei unser Grundprinzip!**

Gelingt es, mehrere Naturerscheinungen mittels *einer* Hypothese zwanglos zu erklären, so hat diese dadurch eine gewisse Wahrscheinlichkeit für sich erhalten. Sie gewinnt immer

mehr Berechtigung, je mehr Erscheinungen und Vorgänge sich derselben unterordnen. Sobald aber eine einzige Thatsache bekannt wird, welche nachweisbar mit derselben unvereinbar ist, so muss die Hypothese fallen!

Von diesem Standpunkte aus wollen wir diejenigen Hypothesen über die Materie, welche uns die einfachsten scheinen, einer vielseitigen gründlichen Untersuchung unterziehen, um zu erkennen, was man mit denselben zu erklären vermag. Führt unsere Untersuchung zu keinem befriedigenden Resultate, so sind die nächst weniger einfachen Hypothesen einer analogen Prüfung zu unterwerfen, und so weiter. Nur durch solche methodische, folgerichtige Prüfung der Hypothesen, von den einfachsten anfangend bis zu den verwickeltsten aufsteigend, wird man Aussicht haben, dem vollen Verständnis des Weltgebäudes näher und näher zu kommen.

Der **Raum** selber, welchen wir unseren Betrachtungen zu Grunde legen, sei dreidimensional und nach allen Richtungen unendlich ausgedehnt.

Die Materie.

Fassen wir den Begriff der Materie in seiner allgemeinsten Bedeutung auf, in dem Sinne nämlich, dass die Materie dasjenige wirklich Seiende bedeute, welches ein Volumen besitzt, welches in allen seinen Teilen stets einen gewissen Raum erfüllt, so können wir unterscheiden: wägbare Materie und unwägbare Materie. Der Unterschied ist aber vermutlich nur ein relativer. Als wägbar bezeichnen wir nämlich alle Materie, von welcher wir mit unseren Wagen Masse und Gewicht bestimmen können, alle festen, flüssigen und gasförmigen Substanzen, welche zusammen den Bestand der Erde ausmachen; als unwägbar dagegen den Aether, Weltäther oder Lichtäther, jenes Fluidum, welches von allen neuen Theorien als wirklich bestehend angenommen werden muss, weil grosse Gebiete der Physik nur unter Annahme eines solchen Fluidums verständlich erscheinen.

Wir adoptieren diese Annahme, dass der Aether ein wirklich bestehendes Raum erfüllendes Fluidum sei, und fassen denselben somit als Materie auf. Absolut unwägbar ist der Aether, wenn von anderen Materien keine Gravitationskräfte auf denselben ausgeübt werden. In diesem Falle wird die ganze Erde den Aether gleichfalls nicht anziehen können; eine Wägung des Aethers ist völlig ausgeschlossen. Bestehen dagegen gravitierende Kräfte zwischen Aether und übriger Materie, so hat der Aether auf die Erde bezogen ein gewisses Gewicht, auch wenn es uns mit unseren feinsten Wagen niemals gelingen sollte, dieses Gewicht zu bestimmen.

Der Materie kommt eine bestimmte Masse zu, welche die Grösse ihres von uns gemessenen Gewichtes bedingt. Masse und Volumen bestimmen die Dichte der Materie.

Uns interessiert in erster Linie der Aether.

I. Der Aether.

Wenn wir den Aether als Materie bezeichnet haben, so liegt darin vorderhand nur eine unbestimmte Annahme über die Natur des Aethers, dieses noch so unbekannten, selber fast hypothetischen Fluidums. In der That sind wir gezwungen, eine viel bestimmtere Hypothese aufzustellen, wenn wir den Aether weiteren Betrachtungen unterziehen wollen; wir müssen dabei berücksichtigen, dass optische, elektrische und magnetische Erscheinungen nur des Aethers allein bedürfen, um mit grosser Geschwindigkeit fortgepflanzt zu werden.

Unserem Grundprinzipe getreu wollen wir diejenige speziellere Hypothese über die Natur des Aethers machen, welche uns als die einfachste erscheinen muss, weil sie auf Analogie beruht: Wir stellen uns vor, **der Aether sei eine Materie gleicher allgemeiner Beschaffenheit wie alle übrige Materie,** nämlich er besitze Masse und Dichte wie diese, sei in gleicher Weise gravitierenden Kräften unterworfen, unterscheide sich überhaupt von aller übrigen Materie nur durch ein „mehr oder weniger“ seiner Eigenschaften, insbesondere durch seine überaus geringe Dichte.

Sind unsere Naturgesetze richtig, so muss eine Uebertragung der Haupteigenschaften aller bekannten Körper auf neue Körper möglich sein, deren Eigenschaften nicht genügend untersucht werden können. Alle Materien haben nun gewisse Eigenschaften gemein: sie gravitieren gegeneinander; sie bestehen aus kleinsten Teilchen, aus Molekeln bezw. Atomen; sie können je nach der mehr oder weniger innigen Zusammenlagerung dieser kleinsten Teilchen verschiedene Aggregatzustände annehmen, u. s. w. Welcher Grund liegt vor, dem Aether ohne weiteres die eine oder andere dieser Haupteigenschaften der Materie abzusprechen? Wir müssen in erster Linie den Versuch machen, dem Aether ein

völlig analoges Verhalten wie allen übrigen Materien zuzuschreiben, und eine derartige Annahme ist in Wirklichkeit keine Hypothese; erst wenn dieselbe uns im Stiche lässt, wenn wir dem Aether ganz andere Eigenschaften zuschreiben müssen, als den anderen Materien, dann begeben wir uns in das Gebiet der Hypothesen.

Sehen wir zu, wie weit wir mit der Voraussetzung kommen, dass der Aether sich seiner Natur nach von den übrigen Materien nicht wesentlich unterscheide, dass er nur teilweise qualitative und insbesondere quantitative Unterschiede erkennen lasse!

Wir wollen zuerst einen Raum betrachten, in welchem nur Aether sich befinden soll; in demselben wird, je nach den gegebenen Bedingungen, der Aether im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustande vorhanden sein können. Um jene Bedingungen festzulegen, wählen wir als Raum einen Teil unseres Sonnensystems, in welchem keinerlei andere Materie, also insbesondere keine Planeten, Satelliten oder Meteoriten, auch die Sonne selber nicht, sich befinden soll. Welchen Aggregatzustand wird dort der Aether besitzen? Offenbar den gasförmigen! Auf diese Vermutung führt uns ein Analogieschluss. Der feste Aggregatzustand entspricht in der Regel der grössten, der gasförmige der geringsten Dichte; Luft von Atmosphärendruck besitzt durchschnittlich eine etwa tausendmal geringere Dichte, als flüssige und feste Körper. Mittels einer guten Luftpumpe können wir die Luft auf den millionsten Teil des Atmosphärendruckes verdünnen. Der Dichtenunterschied zwischen den dichtesten Körpern (Platinmetalle) und der so sehr verdünnten Luft ist ein sehr grosser; allein ebensogross kann möglicherweise der Dichtenunterschied zwischen jener stark verdünnten Luft und dem Weltäther sein, nach einer Schätzung von Sir W. Thomson ($1{,}16 \cdot 10^{-21}$). Der Aether besitzt demnach eine ungemein geringe Dichte, und es ist, ganz abgesehen von anderen Gründen, die Annahme die natürlichste, dass **der Aether im gasförmigen Zustande** sich befinde.

Unterscheidet sich der Aether seiner allgemeinen Beschaffenheit nach nicht von anderen Materien, so müssen seine kleinsten Teilchen Atome sein. Bei der wägbaren Materie verbinden sich in der Regel mindestens zwei Atome zu einer Molekel; jedoch ist durch Messungen, welche Kundt und Warburg zur Prüfung eines theoretisch gezogenen Schlusses der Thermodynamik aus-

führten, gefunden worden, dass es auch einatomige Molekeln giebt. Weil wir stets die möglichst einfachen Annahmen zu machen uns vorgenommen haben, und weil hier vorläufig kein Grund vorliegt, mit zusammengesetzten Aethermolekeln Betrachtungen durchzuführen, so wollen wir uns vorstellen, die kleinsten Teilchen des Aethers seien einfache Körperchen, Kugeln, durch und durch aus derselben Substanz bestehend. Wir nennen diese Kugeln **Aetheratome,** weil sie nicht mehr teilbar sind. In mathematischem Sinne ist zwar jedes Körperchen teilbar, sobald es einen gewissen, wenn auch noch so kleinen Raum einnimmt; wir müssen aber annehmen, die Natur besitze kein Mittel, um eine weitere Teilung jener Aetheratome wirklich vorzunehmen.

Es tritt nun die Frage an uns heran: besitzen die Aetheratome Elastizität? Wir sind genötigt, diese Frage mit „ja" zu beantworten, wenn wir das Auftreten von unendlich (∞) grossen Geschwindigkeiten beim Zusammenstosse zweier bewegter Aetheratome ausschliessen wollen, und Zusammenstösse finden ja im betrachteten Aether fortwährend statt, besonders heftige, wenn er im gasförmigen Aggregatzustande sich befindet. Am einfachsten wäre die Annahme, die Aetheratome seien zwar durch hydrostatischen Druck nicht zusammendrückbar, können aber durch einseitigen Druck vorübergehend aus der Kugelform in andere Formen gleichen Volumens übergeführt werden; ihre Elastizität gebe sich darin kund, dass sie stets wieder ihre Kugelgestalt anzunehmen bestrebt seien. Damit scheint indessen die Schwierigkeit, welche unendlich grosse Geschwindigkeiten innerer Teilchen der Atome voraussehen lässt, noch nicht völlig beseitigt. Vielmehr müssen wir ausserdem den Aetheratomen eine wirkliche, wenn auch noch so geringe kubische Zusammendrückbarkeit zuerkennen, welche gleichfalls eine Elastizität im Gefolge hat. Wären die Aetheratome nicht zusammendrückbar und nicht deformierbar, sondern absolut starre Körperchen, so müssten sie bei Zusammenstössen in kleinere Stücke zerteilt, zersprengt werden; die Aethermaterie würde sich also durch jene Stösse immer weiter in noch kleinere Teilchen zergliedern, wir hätten niemals wirkliche Atome vor uns.

Der Aether in dem von uns betrachteten Raume befindet sich im gasförmigen Aggregatzustande, welch letzterer schon von Daniel Bernoulli, später besonders vortrefflich von Clausius ge-

kennzeichnet wurde. Die Aetheratome sind vollkommen elastische kleine Kugeln, welche mit grossen Geschwindigkeiten den Raum durchfliegen und vermöge ihrer Trägheit so lange ihre Bewegungsrichtungen und ihre Geschwindigkeiten beibehalten, bis sie ein Hindernis antreffen. In dem von uns betrachteten Raume soll sich gar keine andere Materie befinden als Aether. Es wird also jedes Aetheratom in seiner Richtung und Geschwindigkeit verharren, bis es auf ein anderes Aetheratom stösst. Der Zusammenstoss vollzieht sich nach den allgemeinen Gesetzen des Stosses elastischer Kugeln, welche Gesetze die Richtungen und die Geschwindigkeiten, mit denen die Atome wieder auseinander fliegen, berechnen lassen. Nach dem Stosse, wenn derselbe nicht vollkommen zentral war, besitzen die Aetheratome überdies Drehungskomponenten; sie rotieren um Achsen, welche durch ihren Mittelpunkt gehen. Endlich werden nach jedem Stosse die Atome vermöge ihrer Elastizität Schwingungen um ihre Gleichgewichtsgestalt, die Kugelform, ausführen, welche ihre Intensität bewahren bis zu einem neuen Stosse.

Solcher Aetheratome giebt es nun in dem betrachteten Raume eine ungeheure Anzahl. Sie alle fliegen mit grossen Geschwindigkeiten nach allen möglichen Richtungen bis zu Zusammenstössen; hernach fliegen sie in den neuen ihnen gegebenen Richtungen weiter bis zu neuen Zusammenstössen, und so fort. Die Geschwindigkeiten, welche diesen Atomen zukommen, sind durchaus nicht alle gleich, im Gegenteil: sie ändern sich infolge der Zusammenstösse fortwährend, wie die Stossgesetze lehren. Maxwell hat für die Geschwindigkeitsverteilung unter einer sehr grossen Anzahl sich bewegender Gasmolekeln ein Gesetz abgeleitet, welches für den Aether im gasförmigen Aggregatzustande noch strengere Gültigkeit besitzen wird, als für die Gase selber. Auch die anderen Gesetze, welche für einfache Gase aus der kinetischen Gastheorie abgeleitet worden sind, lassen sich ohne weiteres auf den Aether im Gaszustande übertragen.

Obgleich die Geschwindigkeiten aller Aetheratome verschiedene sind und überdies fortwährend wechseln, so giebt es dennoch gewisse Mittelwerte dieser fortschreitenden Geschwindigkeiten, welche so beschaffen sind, dass die Atome, wenn sie alle dieselbe Geschwindigkeit, nämlich diese Geschwindigkeitsmittel-

werte, besässen, doch die wirklich beobachteten Wirkungen nach aussen ausüben müssten. Solche mittlere Geschwindigkeiten der Molekeln hat man für die Luft, für die Gase berechnet; dieselben stehen nach der Theorie mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in inniger Beziehung: die fortschreitende Geschwindigkeit der Molekeln ist der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in dem betreffenden Gase direkt proportional und die Proportionalitätskonstante ist für alle Gase dieselbe. Der Schall ist eine Erscheinung, welche streng an die wägbare Materie gebunden scheint. Nur an die unwägbare Materie, an den Aether unmittelbar gebunden sind dagegen die optischen und die elektrischen Erscheinungen, deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit im freien Aether rund 300000 Kilometer in der Sekunde beträgt. Behandeln wir im übrigen wiederum den Aether wie die anderen Materien, verwenden wir also die gleiche oben erwähnte Proportionalitätskonstante für den Aether, so berechnet sich der Mittelwert der fortschreitenden Geschwindigkeit der Aetheratome zu 440000 Kilometer in der Sekunde [1]). Mit solchen ungeheuren Geschwindigkeiten bewegen sich die Aetheratome zwischen ihren Zusammenstössen in geradlinigen Bahnen fort; gravitierende Wirkungen dieser Atome unter sich können dabei kaum noch in Betracht kommen.

Die bisher besprochenen Bewegungen der Aetheratome können gekennzeichnet werden als ein Hin- und Herzucken der Atome, in jedesmal veränderten Richtungen, bewirkt durch die stets wiederkehrenden Zusammenstösse der Atome untereinander. Ausserdem fanden wir Drehungen der Atome um eigene Schwerpunktsachsen, ferner Schwingungen der Atome um ihre eigene kugelförmige Gleichgewichtsgestalt. Es sind dies wohl die einfachsten Bewegungen, welche sich im gasförmigen Aether denken lassen.

Ausser diesen einfachsten sind selbstverständlich zusammengesetztere Bewegungen im Aether möglich. Denken wir uns, einem Aetheratome werde eine Zeit lang durch irgend eine äussere Einwirkung eine bestimmte Geschwindigkeit nach bestimmter Richtung zu seiner augenblicklichen Geschwindigkeit hinzugefügt.

---

[1]) Clausius' Mittelwert; Maxwells arithmetischer Mittelwert ergiebt 400000 Kilometer in der Sekunde. Für Energiebetrachtungen ist Clausius' Mittelwert zu wählen.

Die weiteren Bewegungen der Aetheratome erfolgen nun ganz ähnlich wie zuvor; allein jenes Atom besitzt eine neue Geschwindigkeitskomponente, welche bei seinen nächsten Zusammenstössen in Betracht kommt. Diese Komponente geht zum Teil auf das zuerst von jenem gestossene, zum Teil auf andere Atome über, die von jenem Atome später gestossen werden. Jedes getroffene Atom, welches von jener Geschwindigkeitskomponente einen Anteil erhalten hat, überträgt diesen wieder auf andere Atome, mit denen es zusammenstösst. So pflanzt sich jene dem ersten Atome aufgezwungene Geschwindigkeitskomponente von ihrem Ursprunge an nach allen Richtungen fort, in konzentrischen Kugelflächen nach aussen sich ausbreitend, wie eine Schallwelle in Luft. Die Intensität dieser neuen Bewegung nimmt aber mit dem Quadrate der Entfernung ab.

Wird jene Geschwindigkeitskomponente stossweise erzeugt und vielen benachbarten Aetheratomen, einer ganzen Atomgruppe, gleichzeitig erteilt, so erfolgt die Ausbreitung, wenn die Atomgruppe verhältnismässig doch nur ein unendlich kleines Volumen einnimmt, in der beschriebenen Weise. Jedoch ist die Intensität der sich ausbreitenden Stosswelle an jeder Stelle so vielmal grösser, als einer grösseren Anzahl benachbarter Atome die ursprüngliche Geschwindigkeitskomponente gleichzeitig beigebracht worden ist. Führt man nicht nur einen Stoss auf jene Atomgruppe aus, sondern mehrere Stösse von abwechselnd entgegengesetzter Richtung, in ganz bestimmten für gleichgerichtete Stösse gleichbleibenden Zeiträumen (in bestimmtem Rhythmus), so pflanzt sich eine Wellenbewegung von der Atomgruppe nach aussen fort, deren Wellenlänge durch jene Zeiträume der Stosswirkungen bestimmt wird.

Licht

wollen wir die soeben beschriebene Wellenbewegung des Aethers nennen, im Sinne von Huygens' Undulationstheorie, wenn ihre Wellenlänge im Bereiche der Lichtwellenlängen liegt; wir nennen sie **strahlende Wärme,** wenn sie den Wärmebestand irgend eines Körpers, auf welchen sie einwirkt, zu ändern vermag.

Wir sehen sofort ein, dass Licht jeder beliebigen Wellenlänge — mit anderen Worten: Licht jeder Farbe, ultrarotes,

sichtbares und ultraviolettes Licht — im Aether mit ein und derselben Geschwindigkeit (300 000 Kilometer in der Sekunde) sich fortpflanzen muss. Genau gleich gross ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der strahlenden Wärme. Es kann ferner die Fortpflanzungsgeschwindigkeit aller dieser Wellenbewegungen nicht von ihrer Intensität abhängen. Diese notwendig aus dem angenommenen Aetherzustande sich ergebenden Folgerungen finden in bekannten Experimenten ihre Bestätigung.

Wie verhält es sich nun mit den Schwingungsrichtungen? Wenn wir durch eine äussere Beeinflussung, durch einen Stoss, einer Atomgruppe eine Geschwindigkeitskomponente nach einer und derselben Richtung erteilt haben, so besitzt diese Gruppe nach dieser bestimmten Richtung einen Geschwindigkeitsüberschuss über die sonst gleichmässig nach allen beliebigen Richtungen verteilten Geschwindigkeiten. Dieser Ueberschuss an Geschwindigkeit verteilt sich, breitet sich in einer kugelförmigen Stosswelle aus; je mehr Teilchen von der Welle ergriffen werden, um so kleiner wird der von jener Komponente herrührende Anteil, welcher den einzelnen Teilchen zukommt. Aber die Richtung jener sich gewissermassen immer mehr differentiierenden Geschwindigkeitskomponente bleibt dieselbe, wie am Anfang, nach dem Prinzip der Bewegung des gemeinschaftlichen Schwerpunktes.

Ganz gleich bleibt das Verhalten, wenn es sich nicht um einen, sondern um mehrere rhythmische Stösse gleicher bezw. entgegengesetzter Richtung, nicht um eine Stosswelle, sondern um eine regelmässige Wellenbewegung handelt. Die Richtung der ursprünglich erteilten Bewegungen bleibt in jedem Augenblicke für den Geschwindigkeitsüberschuss erhalten. Jede sich ausbreitende Kugelwelle weist an jeder Stelle in allen gleichzeitig getroffenen Teilen eine gleiche im Mittel bevorzugte Bewegungsrichtung auf. Die beiden Punkte einer zur Kugelwelle gehörigen konzentrischen Kugelfläche, welche in dem jener Bewegungsrichtung entsprechenden Durchmesser liegen, zeigen beispielsweise radiale Bewegung. Sie mögen als Pole der Kugelwelle bezeichnet werden. Demnach können wir sagen: an den Polen sei die erzeugte Wellenbewegung eine longitudinale; am Aequator dagegen sei sie eine transversale Wellenbewegung von bestimmter gleichbleibender Schwingungsrichtung, also das, was wir eine geradlinig polarisierte Wellenbewegung nennen; und endlich alle

zwischen den Polen und dem Aequator liegenden Punkte werden von einer kombinierten Wellenbewegung getroffen, welche sich in eine transversale und eine longitudinale Wellenbewegung zerlegen lässt.

Aus diesen Betrachtungen erkennen wir, dass longitudinale Wellenbewegungen im gasförmigen Aether genau mit derselben Geschwindigkeit sich fortpflanzen müssen, wie transversale. Ferner zeigt sich, dass die Erzeugung von rein transversalen bezw. rein longitudinalen Wellenbewegungen im Aether, wenigstens durch jene ursprüngliche geradlinige Bewegung einer Atomgruppe, nicht möglich ist. Dagegen würde ein paralleler, polarisierter Lichtstrahl, welcher als rein transversale Wellenbewegung in den von uns betrachteten Aether einträte, vermöge des Huygensschen Prinzips und der Interferenz sich im Aether nicht verbreitern. Er würde durchweg eine Transversalwellenbewegung bleiben, wenn wir die nur in besonderen Fällen stark hervortretende Beugung hier nicht berücksichtigen. Unter gleichen Umständen würde jener Lichtstrahl, wenn er als longitudinale Wellenbewegung in unseren Aetherraum einträte, durchweg als longitudinale Wellenbewegung sich fortpflanzen.

Wir haben im Aether eine bestimmte Bewegung der Atome eingeleitet, welche wir im Sinne der Undulationstheorie als Licht bezeichnen mussten. Nun tritt die Frage nach dem Wesen der Elektrizität an uns heran. Sollen wir dem Aether eine weitere zusammengesetzte Bewegungsform zuschreiben, um damit die Erscheinungen der Elektrizität zu erklären? Denn der Elektrizität entspricht eine gewisse Energieform, und ohne Zweifel handelt es sich bei ihr um kinetische Energie.

Wenn es nicht nötig ist, suchen wir hierfür keine neue Bewegungsform auf. Wir wollen unserem Grundprinzip folgen, von allen Möglichkeiten die einfachste zu bevorzugen. Nun besitzen ja unsere Aetheratome, wie oben beschrieben, dreierlei Bewegungen, welche wir kurzweg kennzeichnen durch die Ausdrucksweise: die Hin- und Herzuckungen, die Drehungen, die Eigenschwingungen. Machen wir den Versuch mit diesen schon bestehenden Bewegungsformen!

Das Licht ist, wie wir wissen, ein überaus feiner Bewegungsvorgang, in dem Sinne, dass die wirklichen Bewegungen, welche in den lichterfüllten Substanzen vorkommen, die Ausschläge der

schwingenden Teilchen, für uns bis jetzt unmessbar klein sind. Dringen wir aber tiefer und tiefer in das Wesen der Materie ein, betrachten wir den Aether gewissermassen mit einem starken Vergrösserungsglase, so sehen wir, in Uebereinstimmung mit unseren früheren Erläuterungen, dass Licht als eine recht grobe Aetherbewegung aufgefasst werden muss. Denn nur wenn grössere Atomgruppen gleichzeitig im gleichen Schwingungszustande sich befinden, hat das Licht eine so grosse Intensität, dass es von uns wahrgenommen werden kann. Dementsprechend machen wir den Versuch, die gröbste jener drei uns noch zur Verfügung stehenden Bewegungsformen des Aethers als Elektrizität aufzufassen. Wir machen die Hypothese:

Elektrizität

sei die zitternde Bewegung des Aethers, welche wir gekennzeichnet haben als **das Hin- und Herzucken der Aetheratome.** Die Energie dieser Aetherbewegung nennen wir elektrische Energie. Damit gewinnen wir eine Analogie mit Erscheinungen in wägbaren Materien, welche später hervorgehoben werden soll. In welcher Form offenbaren sich uns aber die Drehungen und die Eigenschwingungen der Aetheratome? Diese Bewegungen sind verhältnismässig so fein, dass die Energien, welche in ihnen stecken, verschwindend klein sein müssen gegen die Energie, welche in dem Hin- und Herzucken der Atome enthalten ist. Wir können demnach ohne Gefahr, deswegen auf Widersprüche mit der Wirklichkeit zu stossen, für die Folge die stillschweigende Annahme machen, auch die beiden Bewegungsformen der Drehungen und der Eigenschwingungen der Atome seien in der Elektrizität enthalten, sie gehören ohne weiteres zu der Bewegungsform des Hin- und Herzuckens der Atome. In der That kann diese nicht auftreten, ohne jene im Gefolge zu haben.

Ist die Elektrizität eine Bewegungsform des Aethers, so besitzt sie im freien Aether die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wie das Licht, was thatsächlich der Fall ist, wie Hertz mit seinen schönen Versuchen gezeigt hat.

Wann haben wir aber positive, wann negative Elektrizität vor uns, wann die neutrale Elektrizität? Es ist genügend be-

kannt, dass diese Bezeichnungsweise nur eine relative ist. Wenn der elektrische Zustand eines Körpers derselbe ist, wie derjenige der Erde, in der Weise, dass sich an diesem Zustande nichts ändert, wenn der Körper vorübergehend mit der Erde leitend verbunden wird, so sagen wir, der Körper sei elektrisch neutral, der Körper habe dieselbe elektrische Spannung, oder dasselbe elektrische Potential, wie die Erde. Der Zustand des Körpers kann anderseits von demjenigen der Erde verschieden sein: der Körper kann ein höheres oder ein niedrigeres Potential haben, als die Erde. Weil für unsere Experimente grösstenteils relative Werte in Betracht kommen, legt man der Erde willkürlich das Potential Null bei; ein höheres Potential als dasjenige der Erde wird als positives, ein niedrigeres als negatives Potential bezeichnet. Ein Körper, welcher positives Potential besitzt, ist positiv elektrisch; ein negativ elektrischer Körper hat ein negatives Potential.

Wir kehren zu unserem Aetherraume zurück und definieren als neutrale Elektrizität den durch das „Hin- und Herzucken“ besonders gekennzeichneten Bewegungszustand, welchen nach unseren Vorstellungen der Aether durchschnittlich im ganzen betrachteten Raume (unseres Sonnensystems) besitzt. Ist aber im betreffenden Raume ein gewisses abgegrenztes Volumen vorhanden, in welchem jener Bewegungszustand verschieden ist von demjenigen der Umgebung, so ist dieses Volumen gegen den übrigen Raum elektrisch. Wir wollen das Volumen positiv elektrisch oder elektrisiert nennen, wenn die fortschreitenden Geschwindigkeiten der hin- und herzuckenden Aetheratome in demselben grössere sind, als im übrigen Raume; im umgekehrten Falle nennen wir es negativ elektrisiert.

Zu welchen Folgerungen führt nun unsere Vorstellung des Wesens der Elektrizität? Wir untersuchen die Veränderungen, welche das Einbringen eines positiv elektrischen Volumens — als welches wir vorläufig einen positiv elektrisierten Körper uns denken wollen — in unserem bis jetzt betrachteten Aetherraume hervorbringen muss, wenn wir der Einfachheit halber jenes Volumen zuerst als kugelförmig, den einhüllenden Aetherraum als konzentrische Kugel und als unendlich gross im Verhältnis zu jenem Volumen voraussetzen.

An der gesamten Oberfläche jenes Volumens, des elektri-

sierten Körpers, sind die fortschreitenden Geschwindigkeiten der hin- und herzuckenden Aetheratome grössere, als im übrigen Raume. Das plötzliche Einbringen jenes Volumens in unseren Aetherraum wird also dieselbe Wirkung haben, wie eine allen Aetheratomen der gemeinschaftlichen Begrenzungsfläche stossweise erteilte Geschwindigkeitsvermehrung. Eine Stosswelle wird sich vom elektrisierten Körper aus nach allen Richtungen mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Wir wollen uns vorstellen, jenes Volumen, der elektrisierte Körper, enthalte einen so grossen Vorrat an positiver Elektrizität, dass der Energieverlust, den das Volumen durch Aussendung der erwähnten Stosswelle erleidet, nur einen verschwindend kleinen Bruchteil desjenigen Energieüberschusses ausmacht, welchen der elektrisierte Körper über ein gleiches Volumen des neutral elektrischen Aetherraumes selber besitzt. Dann wird vom elektrisierten Körper nicht nur eine, sondern es werden sehr viele, wir können sagen, unendlich viele Stosswellen ausgesandt. Dementsprechend wird fortwährend elektrische Energie ausgestrahlt und ein Beharrungszustand wird sich ausbilden, über welchen uns die kinetische Gastheorie Aufschluss giebt.

Weil sich nämlich die Energie von einem Zentrum ausbreitet, so werden während des Beharrungszustandes diejenigen Aetheratome, welche dem Zentrum näher liegen, grössere Geschwindigkeiten besitzen müssen, als die weiter entfernten. Von den innen im Zentrum bezw. an der Oberfläche des elektrisierten Körpers befindlichen Atomen bis zu den äussersten Atomen unseres betrachteten Raumes werden die mittleren Geschwindigkeiten der hin- und herzuckenden Aetheratome allmählich abnehmen, in bestimmter Weise, weil der Energiefluss durch jede um den elektrisierten Körper als Zentrum beschriebene Kugelfläche einen und denselben Wert haben muss, was ja Hauptbedingung des Beharrungszustandes ist. Durch eine solche Kugelfläche werden von beiden Seiten Aetheratome fliegen mit Geschwindigkeiten, deren Mittelwerte grösser sind für die vom Zentrum nach aussen als für die gegen das Zentrum hinfliegenden Aetheratome. Der Geschwindigkeitsüberschuss der durch jedes Flächenelement vom Zentrum wegfliegenden über die zu diesem hinfliegenden Atome — bei Beharrungszustand in beiden Fällen gleiche Atomzahlen vorausgesetzt — entspricht eben dem durch dieses Flächenelement strömenden Energiefluss.

Nun lehrt aber die kinetische Gastheorie, dass in einem Gasraume im Falle des Beharrungszustandes überall Druckgleichheit herrscht, wenn wenigstens keine äusseren Kräfte wirksam sind und wenn Konvektionsströme und dergleichen ausgeschlossen werden. An der Oberfläche des elektrisierten Körpers und an der Aussenfläche des ganzen betrachteten Aetherraumes sind, wie wir gesehen haben, die mittleren Geschwindigkeiten der hin- und herzuckenden Aetheratome verschieden, weil wir innen die positiv elektrisierte Oberfläche, aussen nahezu eine Oberfläche neutraler Elektrizität haben. Soll Druckgleichheit stattfinden, so muss die Zahl der Aetheratome, welche die positiv elektrisierte Oberflächeneinheit in der Zeiteinheit trifft, kleiner sein als die entsprechende Zahl an Oberflächenstellen neutraler Elektrizität; diese Zahlen müssen sich umgekehrt verhalten wie die mittleren Quadrate der fortschreitenden Aetheratomgeschwindigkeiten an den betreffenden Stellen.

Weil nach der Theorie die in einem Gase enthaltene kinetische Energie dem Gasdrucke proportional ist, so könnte man versucht sein, zu glauben, ohne Druckdifferenz sei in unserem betrachteten Aetherraume doch keine Energieleitung möglich. Es käme dies darauf hinaus, dass ein elektrisierter Körper im Aether gar keine elektrische Energie verliere, dass der Aether ein vollkommener Nichtleiter sei. Dem ist aber nicht so; vielmehr ist eine geringe **Leitungsfähigkeit des Aethers** doch vorhanden. Denn im Beharrungszustande müssen, wie wir schon gesehen haben, durch jedes Flächenelement gleich viel Atome im einen Sinne wie im anderen hindurchfliegen; die vom elektrisierten Körper nach aussen fliegenden Atome haben dabei stets grössere mittlere Geschwindigkeiten, als die in umgekehrtem Sinne fliegenden. Trotz der Druckgleichheit findet also ein Energietransport statt. Derselbe ist indessen gering, der ganze Vorgang entspricht der Wärmeleitung der Gase, ist seinem Wesen nach ein verwickelter Vorgang.

Den mit Aether erfüllten Raum um das betrachtete Volumen, um den elektrisierten Körper herum, welcher Raum dieser Untersuchung zufolge einen ganz anderen Zustand seines Aethers aufweist, als vor der Einbringung jenes Körpers in denselben, nennen wir das **elektrische Feld.** In üblicher Bezeichnungsweise legen wir unserem positiv elektrisierten Körper ein be-

stimmtes positives Potential bei, und auch dem Aussenraume, dem elektrischen Felde, entsprechen gewisse Potentialwerte, welche um so kleiner werden, je weiter wir uns vom elektrisierten Körper entfernen. In unserem Aetherraume ist es die mittlere fortschreitende Geschwindigkeit der Aetheratome, welche von innen nach aussen stetig abnimmt, während die Zahl der letzteren, auf die Raumeinheit bezogen, umgekehrt zunimmt. Es wird also das Potential mit der Geschwindigkeit der Aetheratome zusammenhängen, weil beide Grössen von innen nach aussen abnehmen.

In der kinetischen Gastheorie wurde der absolute Druck der Gase unter anderem dem mittleren Quadrate der fortschreitenden Geschwindigkeit der Molekeln proportional gefunden; ausschliesslich diesem Quadrate proportional definiert man die absolute Temperatur. Wir setzen in ähnlichem Sinne das **absolute Potential** proportional dem mittleren Quadrate der fortschreitenden Geschwindigkeiten der Aetheratome. Damit gewinnen wir eine Analogie zwischen dem elektrischen Potential und der Temperatur, sowie eine Analogie zwischen jenem Potential und dem aerostatischen bezw. hydrostatischen Drucke, welche oft genug benutzt worden ist, um elektrische Vorgänge auch dem Laien verständlich zu machen. Ferner ist eine Analogie zwischen Elektrizitätsfluss und Wärmefluss in den Gleichungen für die Elektrizitätsleitung und für die Wärmeleitung schon längst zum Ausdruck gebracht worden.

Nun sind Flächen gleichen Potentials, **die Niveauflächen,** in unserem Aetherraume einfach diejenigen Flächen, in welchen die Aetheratome gleiche mittlere Geschwindigkeiten besitzen, hier also Kugelflächen. Hätte unser elektrisiertes Volumen nicht kugelförmige, sondern eine beliebige andere Gestalt, so würden die Niveauflächen entsprechend geändert werden. Linien, welche überall senkrecht stehen auf den Niveauflächen, durch die sie hindurchtreten, nach unseren Anschauungen diejenigen Linien, in welchen die grösste Aenderung der mittleren Geschwindigkeiten der Aetheratome vor sich geht, nennt man nach Faraday **elektrische Kraftlinien,** weil sie an jeder Stelle die Richtung der elektrischen Kraft erkennen lassen. In unserem oben betrachteten Beispiele sind die Radien jener Kugelflächen zugleich elektrische Kraftlinien. Die **Spannung im elektrischen Felde**

längs der Kraftlinien, von welcher Maxwell in seiner Theorie der Elektrizität und des Magnetismus spricht, giebt sich hier durch die Geschwindigkeitsdifferenz der in der Richtung der elektrischen Kraftlinien bezw. durch die Niveauflächen hin- und zurückfliegenden Aetheratome zu erkennen. Diese Differenz beeinflusst zugleich die Zahl der an verschiedenen Stellen in der Raumeinheit vorhandenen Aetheratome; sie bewirkt eine **Verschiebung** (im Dielektrikum), so dass eine wirkliche Spannung entsteht, welche sofort die Rückbildung eines homogenen Feldes veranlasst, sobald der elektrisierte Körper verschwunden ist.

Wir denken uns wieder ein elektrisches Volumen, etwa einen elektrisierten Körper von Kugelgestalt, welcher sein elektrisches Feld erzeugt. Derselbe sendet fortwährend elektrische Energie aus, welche sich ausbreitet und auf Widerstand leistende Körper einen ihr proportionalen Druck ausübt. In unserem Beispiele breitet sich die Energie radial aus. Durch jede konzentrische Kugelfläche strömt während des Beharrungszustandes derselbe Energiebetrag. Die durch die Flächeneinheit strömende Energie und folglich auch der durch letztere ausgeübte Druck nimmt mit dem Quadrate der Entfernung ab, der Wirkung von Zentralkräften entsprechend.

Die von einem elektrischen Volumen bleibend ausgestrahlte elektrische Energie ist eine Differenz von ausgestrahlter und zurückgestrahlter Energie; sie ist der Differenz der Geschwindigkeitsquadrate der in Richtungen vom Zentrum nach aussen und der in entgegengesetzten Richtungen fliegenden Aetheratome proportional. Also ist die nur in einer Richtung fliessende Gesamtenergie proportional dem mittleren Quadrate der fortschreitenden Geschwindigkeiten der in dieser Richtung stossenden Aetheratome, und gleicherweise der dieser Energie entsprechend auf einen widerstehenden Körper ausgeübte absolute Druck.

Sind zwei solche elektrisierte Körper in unserem Raume vorhanden, so strahlen beide elektrische Energien aus; sie stossen sich gegenseitig ab mit einem relativen Drucke, welcher sich aus vier absoluten Drucken zusammensetzt, aus zwei abstossenden und aus zwei diesen entgegenwirkenden Drucken. Die ersteren beiden sind proportional der vom ersten bezw. der vom zweiten Körper ausgestrahlten Gesamtenergie; die letzteren beiden sind proportional der aus dem umgebenden Aether in den ersten,

bezw. in den zweiten Körper zurückgestrahlten Gesamtenergie. Alle diese Drucke sind den mittleren Geschwindigkeitsquadraten der dieselben ausübenden Aetheratome proportional. Die **abstossende Kraft,** welche zwei elektrisierte Körper aufeinander ausüben, ist also proportional dem mittleren Geschwindigkeitsquadrate der Aetheratome ihrer ganzen Umgebung. In einem Raume, in welchem aus irgend einem Grunde die mittleren Geschwindigkeiten der Aetheratome ganz andere Werte besässen, würde diese abstossende Kraft elektrisierter Körper aufeinander entsprechend sich ändern.

Wir schlossen früher auf die direkte Proportionalität der Aetheratomgeschwindigkeit mit der Lichtgeschwindigkeit; daraus folgt die umgekehrte Proportionalität derselben mit dem Brechungsexponenten des Aethers an der betreffenden Stelle, den wir mit n bezeichnen. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse finden wir die abstossende Kraft zweier elektrisierter Körper dem Quadrate des Brechungsexponenten n umgekehrt proportional.

Als Dielektrizitätskonstante K wird eine nur vom Medium, in welchem die abstossende Kraft elektrisierter Körper aufeinander gemessen wird, abhängige Konstante bezeichnet, der die abstossende Kraft umgekehrt proportional ist, so dass die in verschiedenen Medien gemessenen abstossenden elektrischen Kräfte den betreffenden Dielektrizitätskonstanten umgekehrt proportional sind. Der Dielektrizitätskonstanten des betrachteten Aetherraumes ist somit nach unseren Entwickelungen das Quadrat seines Brechungsexponenten direkt proportional. Da es sich bei unseren Messungen meistens um Relativzahlen handelt, hat man für den Aether in demjenigen Zustande, in welchem er sich durchschnittlich in der Erdatmosphäre befindet, $K = 1$ und $n = 1$ gesetzt. Damit erhalten wir auch für jeden anderen Aetherzuzustand: $K = n^2$, **die Dielektrizitätskonstante ist gleich dem Quadrate des Brechungsexponenten,** eine Beziehung, welche zuerst Maxwell in seiner elektromagnetischen Lichttheorie aufgestellt hat.

Die **Abstossungs- und Anziehungserscheinungen,** welche wir an gleichnamig und ungleichnamig elektrisierten Körpern wahrnehmen, sind relative Wirkungen. Dieselben müssen mit Hülfe von Archimedes' Prinzip auf die erläuterte allgemeine Abstossung elektrisierter Körper zurückgeführt werden.

Gehen wir zur Betrachtung stromführender Drähte über, welche wir vorläufig, da wir nur die Wirkungen in dem umgebenden Aetherraume untersuchen wollen, als elektrische Energie in der Achsenrichtung leitende cylindrische Volumina auffassen. Unser Aetherraum werde von einem solchen dünnen Drahte durchsetzt, welcher einen konstanten elektrischen Strom führt. Die Niveauflächen im Drahte stehen senkrecht zur Drahtachse und sie mögen auf einer Seite zu höherem, auf der anderen Seite zu tieferem Potentiale gehören, als es dem umgebenden Raume selber im Mittel zukommt. Diesen Potentialen entsprechend wird elektrische Energie aus dem Drahte in den umgebenden Aether austreten, oder umgekehrt in ihn eintreten, je nachdem das Potential des Drahtes an der betreffenden Stelle höher oder tiefer ist als das Potential des Aetherraumes, bis das letztere überall möglichst den Potentialwert des nächstbenachbarten Drahtstückes angenommen hat. Nachdem ein Beharrungszustand eingetreten ist, müssen sich auch im Aetherraume Niveauflächen ausgebildet haben, abhängig vom Potentialabfall auf dem ganzen Stromleiter; in der Drahtoberfläche stimmen dieselben mit den Niveauflächen des Drahtes überein. Senkrecht zu diesen Niveauflächen wird im Aetherraume elektrische Energie fortgeleitet von Stellen höheren zu Stellen tieferen Potentials. In unmittelbarer Umgebung des Drahtes wird also Energie im gleichen Sinne fliessen, wie im Drahte selber. Daher kann man sich den cylindrischen Draht ringsum eingehüllt denken von einem cylindrischen, Energie nach gleicher Richtung wie der Draht selber fortleitenden Aetherraume mit gleicher Achse. In diesem Raume bewegen sich die Aetheratome demnach mit grösseren Geschwindigkeiten im Sinne des Stromabfalls, als umgekehrt.

Sind zwei solche stromführende Drähte einander parallel gespannt, so ist jeder derselben von einem Energie in der Richtung des Drahtes leitenden Aetherraume eingehüllt. Diese beiden Aetherräume greifen mehr oder weniger ineinander ein, die bewegten Aetheratome beeinflussen sich gegenseitig. Sind die Ströme entgegengesetzt gerichtet, so stossen die von dem einen Draht in seiner Stromrichtung mit grösseren Geschwindigkeiten mitgerissenen Atome des umgebenden Aetherraumes mit grösserer Stärke auf die von dem anderen Drahte in entgegengesetzter Richtung mitgerissenen Aetheratome, als wenn die letzteren nicht

mitgerissen werden. Jene finden also in diesen einen grösseren Widerstand mit Strom als ohne denselben. Umgekehrt wird dieser Widerstand geringer, wenn beide Ströme in derselben Richtung fliessen, als wenn nur ein Strom vorhanden ist. Solche Widerstände wirken zurück auf die Stromträger selber. Sind also die beiden Drähte beweglich gegeneinander, so muss eine Bewegung eintreten, derart, dass der Fortdauer der Ströme in den Drähten der geringste Widerstand entgegengesetzt wird. Wir müssen daraus eine **elektrodynamische Abstossung** entgegengesetzt gerichteter Ströme, eine **Anziehung** gleichgerichteter Ströme folgern, Erscheinungen, welche wirklich durch das Experiment nachgewiesen werden [1]).

Während des Entstehens der elektrischen Ströme tritt eine gegenteilige Wirkung auf, welche wir hier erwähnen, obgleich sie kaum nachweisbar sein wird. Wenn nämlich beide Ströme genau im gleichen Augenblicke entstehen, so haben wir eine Zeitlang Energieaustritt aus den Drähten in den umgebenden Aether ganz ähnlich, wie wenn die Drähte statisch elektrisierte Körper mit ihrer Länge nach abfallendem Potentiale wären. Solche statisch elektrisierte Körper müssten sich umgekehrt abstossen, wenn ihr Potentialabfall nach derselben Richtung, sie würden sich anziehen, wenn er nach entgegengesetzter Richtung statt hätte.

Fig. 1.

Zwischen zwei Stromleitern muss noch eine Wirkung stattfinden, auf welche wir eingehen wollen. In unserem Aetherraume sei ein Stromleiter, ein Draht *a a* (Fig. 1), geradlinig ausgespannt. In seiner Nähe befinde sich ferner eine in sich geschlossene Drahtleitung *b b*, welche ihm nur an einer Stelle *c* wie eine Spitze nahe

[1]) Ganz analog werden sich zwei parallele benachbarte Wasserstrahlen, welche in Wasser, oder zwei solche Luftstrahlen, welche in Luft erzeugt werden, verhalten: Gleichgerichtete Ströme ziehen sich an, entgegengesetzt gerichtete Ströme stossen sich ab.

kommen soll. Erzeugen wir in *a* plötzlich einen elektrischen Strom, so wird elektrische Energie aus dem Drahte *a* in den umgebenden Aether und insbesondere bei *c* aus diesem in den Draht *b* eintreten. Dadurch wird in entsprechend kurzer Zeit der Draht *b* auf das mittlere Potential seiner Umgebung gebracht und ein Beharrungszustand bildet sich aus, wenn jener elektrische Strom konstant geworden ist. Weil *b* als Elektrizitätsleiter vorausgesetzt wird, fliesst die bei *c* in denselben eintretende elektrische Energie augenblicklich längs des ganzen Drahtes hin, verteilt sich über den Draht, und zwar fliesst sie nach beiden Drahtrichtungen von *c* aus. Wir erhalten in der Drahtleitung *b* zwei gleich starke entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme, so dass ein bei *G* eingeschaltetes Galvanometer keinen in der Drahtleitung verlaufenden elektrischen Strom erkennen lässt.

Fig. 2.

Anders verhält sich die Sache, wenn wir, wie in Fig. 2 angedeutet ist, die Drahtleitung *b* auf eine längere Strecke dem Drahte *a* parallel spannen und nun in *a* einen elektrischen Strom plötzlich entstehen lassen. Mit dem Entstehen des Stromes tritt ein höheres Potential in *a* auf und schreitet längs des Drahtes fort. Sobald dasselbe in der Nähe von *b* erscheint, wird elektrische Energie, welche ja ohnehin fortwährend an Stellen hohen Potentials aus dem Drahte *a* in den umgebenden Aether übergeht, von letzterem in *b* eintreten. Hier fliesst sie nach beiden Seiten ab, wie im vorhin betrachteten Falle (Fig. 1) erläutert wurde: Wir erhalten zwei in *b* nach entgegengesetzten Richtungen sich bewegende Stosswellen elektrischer Energie.

Zuerst verfolgen wir diejenige Stosswelle, welche in der Richtung des in *a* entstehenden Stromes sich bewegt und welche mit dessen Vorstoss des Potentialanstiegs gleichen Schritt halten muss. Denn wenn wir für die beiden Drähte *a* und *b* im übrigen gleiche Verhältnisse voraussetzen, kann die Stosswelle in *b* dem

in *a* fortschreitenden höheren Potentiale nicht vorauseilen. Sie wird aber auch nicht zurückbleiben, weil fortwährend von den Stellen höheren Potentials in *a* elektrische Energie nach *b* hinüberströmt. Hält die Stosswelle in *b* gleichen Schritt mit dem Vorstoss höheren Potentials in *a*, so wird das höchste Potential jener Stosswelle sich immer mehr erhöhen. Aber immer weniger elektrische Energie fliesst gerade dort von *a* nach *b* hinüber, weil die entsprechende Potentialdifferenz eine immer kleinere wird. Trotz der guten Leitungsfähigkeit von *b* eilt also mit jener Stosswelle ein hohes Potential fort, weil die elektrische Energie in *b* wenigstens nach einer Seite hin, nämlich in der Richtung des in *a* entstehenden Stromes, nicht ruhig abfliessen und die Potentialdifferenz ausgleichen kann, vielmehr fortwährend durch neuen Energieeintritt auf hohem Potentiale gehalten wird. In jener Stosswelle der Drahtleitung *b* herrscht kurz gesagt ein hohes Potential, welches, wegen des Parallellaufens der beiden Energievorstösse in *a* und in *b*, bis zu einer gewissen Grenze fortwährend gesteigert wird.

Sei jene Stosswelle etwa bis zur Mitte der Drähte *a* und *b*, bis zu *c* gelangt. Hinter *c* haben wir auf *a* höhere Potentiale als zuvor und demnach Energieaustritt in den Aether und Eintritt in die Drahtleitung *b*. Die in letztere eintretende elektrische Energie könnte der Leitungsfähigkeit des Drahtes entsprechend nach beiden Seiten gleich gut abfliessen. Auf der Drahtleitung *b* sind aber die Potentialzustände nach beiden Seiten hin ungleich. Bei *c* befindet sich im betrachteten Augenblicke die Stosswelle, in welcher, wie wir gesehen haben, das höchste Potential herrscht, auf das überhaupt ein Teil der Drahtleitung *b* durch den Strom in *a* gebracht werden konnte, durch anhaltendes Zuströmen elektrischer Energie. An allen anderen Drahtstellen findet keine solche Potentialsteigerung statt, das Potential ist niedriger. Auf *b* besteht also eine Potentialdifferenz, eine elektromotorische Kraft, und diese hält auf der ganzen Strecke, vom Anfange, an welchem zuerst elektrische Energie in *b* eintrat, bis zur augenblicklichen Lage (*c*) der Stosswelle, alle weiterhin eintretende elektrische Energie davon ab, in derjenigen Richtung abzufliessen, in welcher in *a* ein Strom im Entstehen begriffen ist; folglich muss sie in umgekehrter Richtung fliessen.

Im Galvanometer *G* der Drahtleitung *b* kommen demnach

zwei elektrische Ströme zu stande. Der eine, durch jene in der Richtung des Stromes *a* forteilende Stosswelle hervorgebracht, besitzt eine Stärke, nicht viel grösser als die beiden im ersten besprochenen Falle (Fig. 1) erzeugten Stromstösse; der andere, von entgegengesetzter Richtung, wird hervorgebracht durch die gesamte hinter der Stosswelle in *b* eingetretene elektrische Energie, nimmt zu mit der Länge der parallel gespannten Drahtstücke von *a* und *b* und übertrifft dementsprechend in seiner Wirkung jenen erstgenannten Stromstoss. Wir beobachten im Galvanometer *G* einen durch den Strom *a* in *b* **induzierten elektrischen Strom,** welcher eine dem in *a* entstehenden Strome entgegengesetzte Richtung hat. Umgekehrt wird in *b* durch Verschwinden des Stromes *a* ein dem letzteren gleich gerichteter Strom induziert, wie man durch eine ganz analoge Betrachtung erkennt, wenn man beispielsweise den in *a* verlaufenden konstant gewordenen Strom durch einen plötzlich in entgegengesetzter Richtung in *a* entstehenden Strom gleicher Stärke zum Verschwinden bringt.

Nur veränderliche Ströme in *a* bringen solche Induktionswirkungen hervor. Sobald einmal der Strom in *a* konstant geworden ist, wird auch die Potentialverteilung in der Umgebung von *a*, auf dem Drahte *b* und in dessen Umgebung stationär, und zu wesentlichen Energieeinströmungen in *b* liegt kein Grund mehr vor, noch weniger zu einseitig in *b* ablaufenden elektrischen Strömen, welche im Galvanometer messbar wären.

Induktionswirkungen in gegeneinander bewegten Stromleitern werden auf die behandelten Wirkungen zurückgeführt. Bei der Annäherung eines stromlosen Leiters *b* an einen stromdurchflossenen *a* tritt elektrische Energie aus *a* in *b* hinüber. Dadurch nimmt der Strom in *a* ab; erst allmählich erlangt er wieder seine ursprüngliche Stärke, und während des Stromanstieges in *a* sind die Vorgänge des Energieüberfliessens von *a* nach *b* ganz so, wie die beim Stromschluss in *a* behandelten.

Machen wir den Vorgang der Energieausstrahlung aus einem einzelnen Drahte, während derselbe von einem rasch ansteigenden und wieder abfallenden elektrischen Strome durchflossen wird, noch anschaulicher, um zum Verständnis des Wesens der **elektrischen Schwingungen** zu gelangen! Wir stellen uns vor, eine Stosswelle vermehrter elektrischer Energie laufe den Draht ent-

lang, so kurz, dass wir sie als hineilenden Punkt erhöhten Energiebetrags auffassen können. An jeder Stelle des Drahtes, durch welche jener Punkt hindurcheilt, tritt elektrische Energie aus dem Drahte in den umgebenden Aether, und sie breitet sich von da nach allen Richtungen mit der ihr eigenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also mit Lichtgeschwindigkeit, aus.

Geht jene Stosswelle in bestimmter Periode in einem begrenzten Drahte hin und her, so nennen wir den Vorgang in diesem Drahtstücke eine elektrische Schwingung. Vermöge des soeben beschriebenen Energieaustrittes in den umgebenden Aether und der in diesem vermittelten Fortpflanzung elektrischer Energie entstehen, einer solchen elektrischen Schwingung zufolge, an allen Stellen des umgebenden Aethers gleichfalls elektrische Schwingungen. Es bildet sich deshalb in diesem eine Wellenbewegung aus in ähnlicher Weise, wie dies schon bei Betrachtung der Lichtwellenbewegung gezeigt worden ist. In grossen Abständen vom Zentrum der Erregung — verglichen mit der Länge des Drahtstückes bzw. mit der Elongation der elektrischen Schwingung — breitet sich die Wellenbewegung annähernd in konzentrischen Kugelflächen aus. Ist das betreffende Drahtstück geradlinig, so können wir wie damals an einer solchen Kugelfläche zwei Pole, in welchen die Wellenbewegung eine longitudinale ist, und einen Aequator unterscheiden, in welchem wir die Wellenbewegung als eine transversale aufzufassen haben; die Schwingungen der dazwischen liegenden Punkte der Kugelflächen sind aus Radial- und Tangentialschwingungen zusammengesetzt, so dass sich nach diesen Richtungen hin eine aus einer longitudinalen und einer transversalen zusammengesetzte Wellenbewegung ausbreitet.

Nach diesen Betrachtungen könnte man denken, optische und elektrische Schwingungen seien vollständig dasselbe. Davon, dass dies nicht der Fall ist, überzeugen wir uns, wenn wir tiefer in das Wesen dieser beiden Schwingungsarten eindringen. Bei Lichtschwingungen, hervorgerufen durch Hin- und Herschwingen einer Atomgruppe, wie wir uns dieselben früher entstanden dachten, erhält jedes Aetheratom, welches von der Wellenbewegung ergriffen wird, durch sie einen Geschwindigkeitszuwachs in der Schwingungsrichtung und nur in dieser, vorausgesetzt, dass wir hier nur die Mittelwerte der Geschwindigkeitsänderungen

von sehr vielen in gleicher Weise beeinflussten Aetheratomen im Auge behalten. Bei den elektrischen Schwingungen handelt es sich dagegen um Bewegungen elektrischer Energie, welch letztere wir dahin definiert haben, dass zum Beispiel eine Aetheratomgruppe grössere elektrische Energie erhält, wenn die Geschwindigkeiten aller nach allen möglichen Richtungen fliegenden Atome in diesen Richtungen vergrössert werden; es handelt sich um entsprechende Potentialänderungen. Pflanzt sich also eine elektrische Wellenbewegung durch unseren Aetherraum fort, so erhält an jeder Stelle, welche von ihr getroffen wird, das Aetheratom nicht eine Geschwindigkeitsänderung in einer ganz bestimmt orientierten Richtung, wie bei Lichtschwingungen, sondern es erhält eine Geschwindigkeitsänderung in einer ganz beliebigen Richtung; es entsteht dort ein anderes Potential. Dieser Unterschied wird auch dann nicht hinfällig, wenn wir zusammengesetzte Lichtwellenbewegungen, Licht verschiedener Schwingungsrichtungen und verschiedener Wellenlängen mit entsprechend zusammengesetzten elektrischen Wellenbewegungen vergleichen.

Für einen charakteristischen Unterschied zwischen optischen und elektrischen Wellenbewegungen sprechen ferner die Intensitätsänderungen. Bei optischen Schwingungen wird die Intensität geändert durch Aenderung der Elongation der ursprünglich schwingenden Teilchen der Lichtquelle, mit anderen Worten: durch Aenderung der Amplitude der ursprünglichen Schwingung, und mit dieser ändert sich in entsprechender Weise die Amplitude an jeder Stelle des Aethers, welche von der Lichtwellenbewegung getroffen wird. Bei elektrischen Schwingungen ändern wir die Intensität durch Verwendung stärkerer elektrischer Ströme; die Elongationen bleiben bei den verschiedenen Intensitäten überall gleich wie zuvor, aber die Energieschwankungen, welche jede von der elektrischen Wellenbewegung getroffene Stelle durchzumachen hat, werden bei denselben geändert.

Aus diesen Ueberlegungen geht hervor, dass **elektrische und optische Wellenbewegungen** im Aether zwar gewisse Aehnlichkeiten besitzen, dass sie aber **nicht identisch** sind. Es kann uns nicht wunder nehmen, wenn beide Arten von Wellenbewegungen viele analoge, auch anderen Wellenbewegungen zukommende Erscheinungen zeigen, wie Brechung, Reflexion, Polarisation, Interferenz, Beugung u. s. w.; wenn diese Erscheinungen

sich mit analog gebauten, zum Teil sogar mit denselben Gleichungen behandeln lassen. Allein völlige Uebereinstimmung aller Resultate ist in unserem Systeme nie möglich, und es ist nach demselben nicht denkbar, dass man durch fortwährende Verkleinerung der Wellenlänge elektrischer Schwingungen und durch fortwährende Vergrösserung der Wellenlänge optischer (bezw. thermischer) Schwingungen schliesslich beiden Schwingungsarten gemeinsame Wellenlängen erreichen könne, bei welchen elektrische und optische Wellenbewegungen keine Unterschiede mehr erkennen lassen.

II. Die wägbare Materie.

Beim Aether haben wir einige Annahmen über seine Natur und sein Wesen machen müssen, um die Vorgänge untersuchen zu können, welche sich in ihm allein abspielen. Jene Annahmen mögen dem einen als ganz selbstverständliche Voraussetzungen erscheinen, während ein anderer unsichere Hypothesen darin erblickt. Für die Erläuterung der Erscheinungen, welche die wägbare Materie mit sich bringt, können wir uns von mehr oder weniger selbstverständlichen Annahmen ebensowenig frei machen. Es liegt dies in der Natur der Sache. Wir wollen aber stets unseres Grundprinzips eingedenk sein, nur die einfachst möglichen Annahmen zu berücksichtigen.

Die einfachste Raumerfüllung ist diejenige mit Aether, also das, was wir sonst leeren Raum zu nennen belieben. Wollen wir den Aufbau der wägbaren Materie untersuchen, so müssen wir uns stets den Aether als im Raume gleichfalls vorhanden denken; denn den Aether vermögen wir aus keinem Raume auszuschliessen. Wir haben demnach zuerst Atome wägbarer Materie zu betrachten, welche in den Aether eingestreut sind.

Ueber das Grössenverhältnis von wägbaren Atomen und Aetheratomen wissen wir nichts. Ueber ihr Massenverhältnis können wir dagegen schätzungsweise wenigstens einen unteren Grenzwert angeben. Nehmen wir nämlich an, die Raumeinheit enthalte zum mindesten ebensoviele Aetheratome, als Luftmolekeln unter Atmosphärendruck in derselben Platz haben [1]), so muss sich die Masse der Luftmolekeln (O_2 oder N_2) zu derjenigen der

[1]) Die Werte der Lichtgeschwindigkeiten in Gasen von verschiedener Dichte, welche der Beer'schen Formel $(n - 1)/d = \text{const.}$ annähernd Genüge leisten, rechtfertigen die Vermutung, dass die Zahl der wirklich vorhandenen Aetheratome eine ungemein viel grössere sei.

Aetheratome verhalten wie die Atmosphärendichte zur Aetherdichte. Die Masse einer Luftmolekel wäre dann — Sir W. Thomsons Schätzung der Aetherdichte zufolge — in runder Zahl Trillionenmal grösser, als diejenige eines Aetheratoms. Was diese Zahl bedeutet, lehrt uns der Vergleich der Erde mit einer Kugel von 12,8 Meter Durchmesser, welche, auf die Erdoberfläche gestellt, etwa die Gesamthöhe eines zwei- bis dreistöckigen Hauses hätte. Das Volumen der Erde ist etwa Trillionenmal grösser als dasjenige jener Kugel. Mindestens in demselben Grössenverhältnisse müssten also die Luftmolekeln, oder annähernd auch ihre Hälften, die Luftatome zu den Aetheratomen stehen, wenn beiderlei Atome aus gleich dichter Substanz bestünden. Wahrscheinlich ist die Atomdichte [1]) der wägbaren Materie eine viel grössere als diejenige des unwägbaren Aethers. Dessenungeachtet wird der Grössenunterschied beiderlei Atome immer noch ein ausserordentlich grosser bleiben.

Wird nun das Atom einer wägbaren Materie in den Aetherraum hineingebracht, so übt dasselbe vermöge seiner mindestens Trillionenmal grösseren Masse und vermöge seiner grossen Atomdichte auf die Aetheratome eine weit stärkere Gravitationswirkung aus, als die Aetheratome aufeinander. Wir nehmen an, auf der Oberfläche jenes wägbaren Atoms lagern sich demzufolge Aetheratome an. Aetheratom lege sich an Aetheratom, enger und enger, bis diese ihre freie Beweglichkeit ganz verloren haben. Das wägbare Atom wird sich demnach mit einer dichten Aetherhülle ganz umgeben, deren Aggregatzustand wir als flüssigen betrachten wollen. Diese Aetherhülle bleibt um so fester an jenes wägbare Atom gefesselt, je grösser der Druck ist, welcher, infolge der mit ungeheuren Geschwindigkeiten bewegten Aetheratome unseres Raumes, auf ihrer Oberfläche lastet [2]).

Jedes wägbare Atom ist umgeben von einer Aetherhülle. Die innersten, die Oberfläche des wägbaren Atoms unmittelbar berührenden Aetheratome sind vermutlich stark angepresst und

---

[1]) Die gewöhnlich als Dichte eines Körpers bezeichnete Zahl, die Körperdichte, ist natürlich etwas ganz anderes, als die Dichte der das wirkliche Atomvolumen erfüllenden Substanz; wir haben die letztere Dichte als „Atomdichte“ bezeichnet.

[2]) Vgl. die späteren Entwickelungen über den Aetherdruck, die Aggregatzustände und den Sättigungsdruck.

ziemlich unbeweglich, während die äusseren Aetheratome noch eine freiere Beweglichkeit bewahrt haben. Nur solche wägbare Atome wollen wir für die Folge betrachten. Sodann werden wir späterhin öfters diese bereits mit ihren Aetherhüllen versehenen wägbaren Atome kurzweg als wägbare Atome oder als Atome des betreffenden Körpers bezeichnen.

Bei der Untersuchung der Eigenschaften des Aethers sahen wir uns veranlasst, der Aethersubstanz selber, das heisst der die Aetheratomvolumina erfüllenden Substanz, eine gewisse Elastizität zuzuschreiben. Weil wir nun, nach unserem Grundprinzip, für den Aether die allgemeinen Eigenschaften, welche die wägbare Materie besitzt, in Anspruch genommen haben, so müssen wir, um folgerichtig zu bleiben, auch das Umgekehrte thun: wir müssen der Substanz, welche die Volumina der wägbaren Atome erfüllt, eine eigene Deformierbarkeit und vollkommene Elastizität zuschreiben, genau so, wie wir dies (S. 7) für die Substanz der Aetheratome gethan haben. Prüfen wir, wie sich diese Elastizitäten bemerkbar machen!

Zwei wägbare Atome mögen miteinander zur Berührung kommen. Waren ihre relativen Geschwindigkeiten vor der Berührung genügend klein, so haften sie nachher aneinander und verdrängen die flüssigen Aetherhüllen aus dem zwischen ihnen befindlichen Raume. Stürzten sie aber mit grossen Geschwindigkeiten aufeinander, so entstehen beim Stosse starke Deformationen und starke Druckkräfte während der Berührung, den Stossgesetzen entsprechend; die Atome werden unter Umständen wieder mit grossen Geschwindigkeiten auseinanderfliegen.

Aber nicht nur die Elastizität der wägbaren Atome selber kommt dabei zur Geltung, sondern auch diejenige ihrer Aetherhüllen. Denn wie ein Stein, welcher ins Wasser fällt, vermöge der Elastizität des Wassers einen Gegendruck erfährt, der seine Fallgeschwindigkeit hemmt, so üben die beiderseitigen Aetherhüllen bei heftigen Zusammenstössen der wägbaren Atome einen entsprechenden Druck aufeinander aus, weil sie während der äusserst kurzen Stossdauer nicht genügend rasch, bezw. nicht mit unendlich grossen Geschwindigkeiten ausweichen können. Dieser Druck ist unter Umständen so gross, dass die wägbaren Atome selber gar nicht zur wirklichen Berührung kommen, dass nur ihre Aetherhüllen sich berühren und sich stark deformieren.

Vielleicht wird dies schon der Fall sein bei den heftigen Bewegungen, in welchen sich unter normalen Temperaturverhältnissen alle Atome befinden. So kommen also bei Zusammenstössen wägbarer Atome in Betracht: Die eigene Elastizität der Substanz der wägbaren Atome, die Elastizität der ganzen flüssigen Aetherhüllen der Atome und die eigene Elastizität der Substanz der Aetheratome.

Zwei wägbare Atome können somit gegeneinander schwingen um eine Gleichgewichtslage, die bestimmt wird durch Gleichheit der Kräfte, welche die Atome gegeneinander bewegen, mit jenen elastischen Gegenkräften, welche sie voneinander entfernen. Die Gleichgewichtslage ist dabei unter sonst gleich bleibenden Verhältnissen in der Regel eine stabile, weil bei kleinen Verrückungen die elastischen Gegenkräfte gewöhnlich viel rascher zu- bezw. abnehmen, als diejenigen Kräfte, welche beide Atome zusammen ziehen oder drücken. Durch Zugkräfte kann man zwar Körper auseinanderziehen, bis zum Zerreissen, also unbegrenzt die Atome voneinander entfernen nach allen Seiten hin; aber ein unbegrenztes allseitiges Zusammendrücken derselben durch Druckkräfte ist nicht denkbar, eine Eigenschaft, welche die Elastizitätskoeffizienten veränderlich mit den Atomentfernungen macht.

Wir haben zwei im Aetherraume befindliche wägbare Atome einander berühren lassen. Die beiderseitigen Aetherhüllen deformieren sich dabei, platten sich ab, gehen bei längerer Berührung ineinander über, weil sie ja aus einer und derselben Materie bestehen. Es bildet sich eine gemeinsame Aetherhülle der aus den zwei Atomen zusammengesetzten Molekel, und, weil zwei wägbare Atome zusammen auf die umgebenden Aetheratome eine grössere Anziehungskraft ausüben, als eines allein, wird nach ihrer Vereinigung die gemeinsame Aetherhülle grösser sein als die Summe beider einzelnen Hüllen. Ferner hat die Aetherhülle der Molekel vermöge der Abplattung der Aetherhüllen der Atome und vermöge der Anlagerung neuer Aetheratome eine gewisse Abrundung erfahren [1]).

---

[1]) Der Mittelwert der äusseren Durchmesser der molekularen Aetherhülle ist offenbar etwas grösser als der von Clausius eingeführte zugehörige „Radius der molekularen Wirkungssphäre“, wegen der Elastizität dieser Aetherhülle.

Die betrachtete Molekel befindet sich im Aetherraume, also im Aether von gasförmigem Aggregatzustande. Wollen wir die beiden zu der Molekel vereinigten Atome wieder auseinanderziehen, so stossen wir auf einen Widerstand, den wir noch zu berücksichtigen haben. Fig. 3 stelle die aus zwei Atomen gebildete Molekel dar. *EE* sei die Zerreissungsfläche, welche sich bilden muss, damit wir die beiden Atome wirklich trennen können. Vermöge des ausserhalb der Molekel in heftig zuckender Bewegung befindlichen, gasförmigen Aethers steht die ganze Oberfläche der molekularen Aetherhülle unter dem Drucke desselben, und dieser ist proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit, ferner der Masse und der Zahl der die Oberfläche treffenden Aetheratome. Wie die Figur lehrt, werden durch diesen Druck die zwei in der Ebene *EE* geteilt gedachten Hälften der Molekel zusammengehalten, gegen die Ebene *EE* gepresst, und dieser Druck ist noch zu überwinden, wenn wir die Molekel in ihre Atome auflösen wollen.

E

E

Fig. 3.

Die Atome einer Molekel werden also nicht nur durch die Gravitationskraft, sondern ausserdem durch den Aetherdruck[1]) zusammengehalten, das heisst durch eine Kraft, welche nur in unmessbar kleinen Abständen wirksam ist, und welche ganz verschwindet, wenn die Molekel völlig in die Atome gespalten ist. Diese Gesamtkraft nennen wir **Affinität**; sie vereinigt die Atome zu einem festen Ganzen, zur Molekel. Die Affinität ist demnach auf dieselben Wirkungen zurückgeführt, welche die Aetherhüllen an die wägbaren Atome fesseln.

Fügen wir jetzt ganze Molekeln aneinander, wie vorhin die Atome, so erkennen wir, dass in analoger Weise die Molekeln nicht nur durch die Gravitationskraft, sondern insbesondere durch den Aetherdruck zusammengehalten werden, dass auch für sie beim Zerreissungsversuche eine Gegenkraft einsetzt, welche sehr bedeutend sein kann, während die Molekeln auseinandergerissen werden, welche aber fast ganz verschwindet, sobald das Zerreissen

[1]) Ein Analogon zu diesem Aetherdrucke bildet der Luftdruck, zum Beispiel bei den Magdeburger Halbkugeln Otto von Guerickes.

wirklich geschehen ist. Diese Gesamtkraft nennen wir **Kohäsion,** wenn es sich um die Wirkung zwischen Molekeln gleicher Substanz, wir nennen sie **Adhäsion,** wenn es sich um diejenige zwischen Molekeln verschiedener Substanzen handelt.

Der Umstand, dass die Kraft verschwindend klein ist, welche einen Körper zusammenhält, wenn er in zwei Teile zerrissen ist, zeigt, dass die Gravitationskraft hier nur ganz nebensächliche Bedeutung besitzt. Ebenso ist bei starken Kohäsionskräften der Luftdruck nur einem unbedeutenden Teile der Kohäsionskraft gleich. Dann aber muss man im stande sein, aus dem Aetherdrucke die mögliche Grösse der Kohäsionskraft, oder umgekehrt aus der bekannten Kohäsionskraft den unbekannten Aetherdruck bezw. die Dichte des Aethers zu berechnen, dessen fortschreitende Atomgeschwindigkeiten wir als bekannt annahmen. Diese Aetherdichte muss mit der auf anderem Wege gefundenen Aetherdichte wenigstens der ungefähren Grössenordnung nach übereinstimmen, soweit man dies bei so unsicheren Schätzungen verlangen kann. — Auch mit der Affinität müssen sich analoge Rechnungen anstellen lassen.

Zahlenwerte.

Soll der ganze auf dem Zerreissungsquerschnitte lastende Aetherdruck als Kohäsionskraft zu Tage treten, so müssen in jenem die kleinsten Teilchen des Körpers, die Molekeln, dicht aneinander gelagert sein, so dicht, dass keine Zwischenräume, keine Poren, zwischen denselben übrig bleiben, auf welche der Aetherdruck nicht ausgeübt würde; je dichter dieselben liegen, um so grösser ist die Zerreissungsfestigkeit, und umgekehrt lässt eine grosse Zerreissungsfestigkeit auf dichte Aneinanderlagerung der kleinsten Teilchen, auf eine geringe Porosität schliessen. Wir haben somit, um der Wirklichkeit möglichst nahe zu kommen, mit demjenigen Material zu rechnen, welches die grösste Zerreissungsfestigkeit besitzt, mit Gussstahl. Damit gewinnen wir für die Aetherdichte einen kleinsten Wert; der Aether muss in Wirklichkeit dichter sein.

Zur Zerreissung eines Quadratcentimeters Gussstahl sind 10000 Kilogramme Gewicht als notwendige Belastung gefunden worden; die zerreissende Kraft ist somit: $981 . 10^7$ Dynen. Nun beträgt der Druck des gasförmigen Aethers: $\frac{1}{3} \rho G^2$, wenn ρ die

Aetherdichte, G^2 das mittlere Quadrat der Aetheratomgeschwindigkeit bezeichnet. Mit dem von uns (S. 9) berechneten Mittelwerte $G = 4,4 \cdot 10^{10}$ wird der Aetherdruck pro Quadratcentimeter: $p = \frac{1}{3} \rho \cdot 4^2,4 \cdot 10^{20}$ Dynen. Soll die den Gussstahl zerreissende Kraft durch den Aetherdruck gemessen werden, so müssen diese beiden Kräfte einander gleich sein: $981 \cdot 10^7 = \frac{1}{3} \rho \cdot 4^2,4 \cdot 10^{20}$, woraus sich ergiebt:

$$\rho = 1,52 \cdot 10^{-11}$$

als Aetherdichte auf Wasser bezogen. Es muss also unser Aether nur so dicht sein, wie verdünnte Luft von dem vierundachtzigmillionsten Teile des Atmosphärendruckes, um die sehr grosse Kohäsionskraft des Gussstahls ohne Zuhülfenahme irgend einer anderen Kraft zu erklären. In Wirklichkeit ist der Aetherdruck grösser als diese Kohäsionskraft, weil jeder Körper porös[1]) ist, so dass nicht der ganze zerrissene Querschnitt von Molekeln erfüllt sein kann.

Noch auf andere Weise können wir versuchen, die Aetherdichte zu schätzen, indem wir sie in Beziehung bringen zu der Affinität. Vermöge der Affinität vereinigen sich 12 Gramm Kohle mit 32 Gramm Sauerstoff zu 44 Gramm Kohlensäure: die Kohle verbrennt. Ihre Verbrennungswärme beträgt etwa 8000 Kalorien, für 12 Gramme 96000 Grammkalorien, oder in mechanischer Energie: $96000 \cdot 42400 \cdot 981$ Ergs. Diese Energie muss umgekehrt von uns aufgebracht werden, wenn wir die Kohlensäure in ihre Bestandteile zerlegen, die Molekeln in ihre Atome spalten wollen; wir müssen dabei den Aetherdruck über eine gewisse Weglänge überwinden.

Ohne Rücksicht auf die Gestalt der Kohlensäuremolekel zu nehmen, bezeichnen wir mit σ deren mittlere Länge, mit σ^2 deren Querschnitt. Werden alle Molekeln jener 44 Gramm Kohlensäure dicht nebeneinander in eine Fläche f ausgebreitet gedacht, so berechnet sich diese letztere aus $f\sigma = 44$, wenn man die Dichte jener aneinander gereihten Kohlensäuremolekeln gleich derjenigen der flüssigen Kohlensäure annimmt, welche mit der Dichte des Wassers nahezu übereinstimmt. Auf der Fläche f lastet der Aetherdruck, also fp. Alle Molekeln seien nun auf

[1]) Beispielsweise hat Amagat gezeigt, dass sich Quecksilber noch durch den dichtesten Stahl hindurchpressen lässt.

der Fläche f so gerichtet, dass ihre Längsrichtungen, das heisst die als geradlinig vorausgesetzten Verbindungslinien der drei Atommittelpunkte der Molekeln auf jener Fläche senkrecht stehen. Wird die Molekel in ihre Bestandteile zerlegt, so müssen drei Atome in der Richtung senkrecht zur Fläche f auseinander gerissen werden. Dementsprechend ist jener auf der Fläche f lastende Aetherdruck auf einem der Volumenvergrösserung entsprechenden Wege zu überwinden. Es ist eine Arbeit gegen den Aetherdruck zu leisten, als teilweises Aequivalent für jene Wärme, welche der Kohlensäure zuzuführen ist, bis die Trennung der Atome zu stande kommt. Um einen ungefähren Wert der Arbeit zu erhalten, welche bei jener Trennung gegen den Aetherdruck aufzuwenden ist, stellen wir uns vor, jede Kohlensäuremolekel werde auf ihr doppeltes Volumen gebracht oder um ihre eigene mittlere Länge σ gedehnt, bis die Zerreissung vollendet ist, und auf dieser Weglänge wirke jener gesamte Aetherdruck f p. Die entsprechende Arbeit ist somit $f p \sigma = 44 p$ und diesen Wert wollen wir jener oben berechneten Wärmeenergie gleichsetzen: $44 \,.\, \frac{1}{3} \rho \,.\, 4^2{,}4 \,.\, 10^{20} = 96000 \,.\, 42400 \,.\, 981$. Daraus finden wir als Aetherdichte:

$$\rho = 14{,}1 \,.\, 10^{-11}$$

auf Wasser bezogen, oder den neunmillionsten Teil der Dichte der Luft unter Atmosphärendruck, einen etwa 10mal grösseren Wert, als früher die Berechnung mit der Kohäsionskraft ergeben hat.

Führen wir dieselbe Rechnung mit Wasserstoff durch, den wir zu Wasserdampf verbrennen lassen, wobei die Verbrennungswärme 34000 Kalorien zu Grunde gelegt, die Verdampfungswärme des Wassers und die Luftdrucksarbeit in Abzug gebracht wird, so erhalten wir den Wert:

$$\rho = 20{,}3 \,.\, 10^{-11}$$

bezw. den 6,4millionsten Teil der Luftdichte unter Atmosphärendruck.

Beim Zerteilen der Kohlensäuremolekeln in die kleineren Kohlenstoff- und Sauerstoffmolekeln wird ein Teil des von der Kohlensäuremolekel gefangen gehaltenen Aethers frei (S. 31), er wird gasförmig und muss auf die grosse Geschwindigkeit $4{,}4 \,.\, 10^{10}$ gebracht werden, ein Energieverbrauch, welcher der Energie der

Verdampfungswärme von Flüssigkeiten analog ist und welcher, wie diese, unter Umständen sehr ins Gewicht fallen kann. Dieses „Verdampfen“ eines Teils des an die grösseren Molekeln gefesselten Aethers giebt uns auch die Berechtigung zu der Annahme, das Volumen der Kohlensäuremolekel werde durch die Auflösung derselben in die kleineren Molekeln und in gasförmigen Aether etwa auf den doppelten Betrag gebracht.

Berücksichtigen wir jenen Vorgang der Aetherverdampfung vollständig, über dessen Energieumsatz wir freilich auch nicht annähernde Schätzungen anzugeben vermögen, so dürfen wir vielleicht den Schluss ziehen, dass der wahre Wert der Aetherdichte etwa in den Grenzen der oben von uns mit der Kohäsion und mit der Affinität berechneten Zahlen liegen werde, wenigstens auf der Erdoberfläche. Im freien Weltraume wird dieselbe wesentlich geringer sein, als an den Oberflächen grosser Weltkörper, wegen der Wirkung der Gravitation.

Mit einer Aetherdichte, welche kleiner ist als die Dichte der auf ein sechsmillionstel Atmosphärendruck ausgepumpten Luft, lassen sich nach den eben ausgeführten Berechnungen die Kräfte der Affinität, der Kohäsion und der Adhäsion ihrer Grösse nach als Aetherdrucke erklären.

Bei den grossen Unsicherheiten, welche allen zu Aetherdichteschätzungen benutzten Zahlen anhaften, scheinen uns die oben berechneten Werte der Aetherdichte Beachtung zu verdienen. Jedenfalls wäre das Gewicht eines Aethers von der hier gefundenen Dichte für uns bis jetzt mit den besten Wagen kaum nachzuweisen, ganz abgesehen davon, dass keine wägbare Materie für den Aether undurchlässig sein kann, so dass wir keine „Aetherleere“, entsprechend der Luftleere, zu erzeugen im stande sind.

In einem früheren Teile haben wir Licht und Elektrizität als reine Bewegungsvorgänge im Aether erklärt; es erübrigt noch, zu untersuchen, ob denn dieser Aether mit der soeben berechneten Dichte im stande sei, so grosse Energiemengen zu bergen, wie wir sie beim Lichte und bei der Elektrizität beobachten können, wie sie zum Beispiel in Bogenlichtern in so ungeheurer Stärke auf den kleinsten Raum konzentriert zu Tage treten?

Die in einem Kubikcentimeter enthaltene kinetische Energie des gasförmigen Aethers ist: $K = \frac{1}{2} \rho G^2$. Benutzen wir für

die Aetherdichte unseren sicher nicht zu grossen Wert: $\rho = 2{,}5 \cdot 10^{-11}$ so wird: $K = \frac{1}{2} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-11} \cdot 4^2{,}4 \cdot 10^{20} = 2{,}42 \cdot 10^{10}$ Ergs. Dies ist der Energieinhalt eines Kubikcentimeters des sogenannten „leeren Raumes“, der jedoch, wie wir wissen, mit Aether erfüllt ist. Die grösste Energieentfaltung, die nach unserem System im Aether überhaupt möglich erscheint, hätte das Abströmen dieser im gasförmigen Aether enthaltenen kinetischen Energie mit derjenigen Geschwindigkeit im Gefolge, welche der Elektrizität und dem Lichte eigentümlich ist. In diesem Falle würde durch den Querschnitt eines Quadratcentimeters in der Sekunde die Energie strömen: $2{,}42 \cdot 10^{10} \cdot 3 \cdot 10^{10}$ Ergs, eine Leistung, welche annähernd 100000000000 Pferdestärken entspricht. Im Vergleich mit solch gewaltigen Effekten liefern unsere stärksten elektrischen und optischen Energiequellen, auch die Sonne selber an ihrer Oberfläche, nur verschwindend kleine Energiebeträge in der Sekunde. Daher ist unser gasförmiger Aether als Träger der grössten beobachteten elektrischen und optischen Energien vollkommen befähigt.

Wärme.

Wir beschäftigten uns bis dahin vorzugsweise mit ruhenden wägbaren Atomen und Molekeln; demnach können unsere Ergebnisse der Wirklichkeit noch nicht völlig entsprechen. Denn in der Natur haben wir überall Bewegung vor uns.

In einem Aetherraume befinde sich eine sehr grosse Zahl von Molekeln, unter welchen wir stets Aggregate von gleichen oder verschiedenartigen wägbaren Atomen, jedes umgeben von seiner Aetherhülle, verstehen wollen. Die Molekeln seien untereinander gleichartig, nämlich kleinste Teilchen einer und derselben einfachen Substanz. Die Gesamtheit dieser Molekeln kann sich im festen, flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustande befinden, je nach ihrem Wärmeinhalte; wir werden später näher auf diese Unterschiede eintreten.

Der Gaszustand der wägbaren Substanzen ist von dem früher behandelten Gaszustande des Aethers etwas verschieden, teils weil die Molekeln ihrer Natur nach ganz andere Gebilde sind als die Aetheratome, teils weil eben in jedem Raume diese letzteren auch noch zugegen sind. Haben wir also einen ringsum

abgeschlossenen, mit Molekeln mehr oder weniger angefüllten Raum vor uns, so wird der Gaszustand der betreffenden Substanz nach unseren Anschauungen folgendermaassen gekennzeichnet sein: Die Molekeln besitzen sehr grosse Geschwindigkeiten [1]) und fliegen mit diesen nach allen möglichen Richtungen in nahezu geradlinigen Bahnen [2]), bis sie mit anderen Molekeln zusammenstossen oder bis sie die Wandungen des Raumes treffen. Die Zusammenstösse erfolgen nach Maassgabe der Stossgesetze. In andere Richtungen abgelenkt fliegen die Molekeln mit den ihnen durch die Stösse erteilten neuen Geschwindigkeiten weiter bis zu neuen Zusammenstössen, und so fort. Bei den vielfachen in der Regel exzentrischen Stössen müssen Rotationen der ganzen Molekeln um eigene Schwerpunktsachsen entstehen. Ferner treten Eigenschwingungen der Molekeln auf, nämlich Schwingungen der einzelnen die Molekel bildenden wägbaren Atome gegeneinander; sodann selbständige Rotationen der wägbaren Atome um ihre eigenen Achsen. Endlich werden die Aetheratome der Aetherhüllen, welche der Molekel zugehören, noch ihre eigenen mehr oder weniger selbständigen Bewegungen, Schwingungen und dergleichen ausführen können und müssen. Der gasförmige Aether des Raumes wirkt allen diesen Bewegungen als widerstehendes Mittel entgegen.

Die letztere Bewegung der Aetheratome gehört in das Gebiet der Elektrizität und des Lichtes, wie wir früher gesehen haben, während die übrigbleibende Bewegung der ganzen Molekeln und der wägbaren Atome nach Clausius dasjenige ist, was wir Wärme nennen. Die Geschwindigkeiten der einzelnen Molekeln sind auch hier nicht gleich, sondern verschieden, und sie ändern sich fortwährend. Es gilt annähernd Maxwells Gesetz der Geschwindigkeitsverteilung, nach welchem alle möglichen Geschwindigkeiten unter den Molekeln vorkommen. Indessen haben die unendlich grossen und die unendlich kleinen Geschwindigkeiten die geringste, gewisse Mittelwerte der Geschwindigkeit die grösste Wahrscheinlichkeit für sich.

Die Energie der Wärme definiert man als die Energie der

---

[1]) Nach Clausius' Mittelwert haben Luftmolekeln eine Geschwindigkeit von 485 Metern in der Sekunde bei der Temperatur 0° Celsius.

[2]) Wegen der Gravitationswirkungen sind die Bahnen nicht genau geradlinig.

Bewegung der Molekeln und ihrer wägbaren Atome. Weil die Energie, welche als kinetische in der sogenannten lebendigen Kraft der dahinfliegenden Molekeln steckt, den anderen in Frage kommenden kinetischen Energien der Rotationen und der Eigenschwingungen der Molekeln annähernd proportional sein wird, können wir die Wärmeenergie des Gases annähernd proportional dem mittleren Quadrate der Molekulargeschwindigkeit setzen; sie ist entsprechend proportional der Masse und Zahl der Molekeln, welche im Raume vorhanden sind. Ausschliesslich jenem Quadrate seiner Molekulargeschwindigkeit proportional setzt man die **absolute Temperatur** des Gases. Dabei sieht man ab von einer allfälligen fortschreitenden Geschwindigkeit der ganzen Substanz. Nur die gegenseitigen relativen Geschwindigkeiten der Molekeln zu einander kommen bei der Temperaturdefinition in Betracht, nicht ihre absoluten Geschwindigkeiten.

Aus unseren Definitionen folgt nun die Analogie zwischen der absoluten Temperatur und dem absoluten Potential; ferner die Analogie zwischen Wärme und Elektrizität überhaupt, indem die in der Bewegung der Aetheratome steckende Energie als elektrische Energie ganz analog definiert wurde, wie die in der Bewegung der wägbaren Molekeln steckende Energie als Wärmeenergie.

Schall

und Licht stehen gleichfalls in Analogie zu einander. Denn wird die Schwingungs- bezw. Wellenbewegung, welche wir im Aether verfolgten und als Licht bezeichneten, ganz entsprechend in einem wägbaren Gase erzeugt, so dass hier die Gasmolekeln die nämlichen Bewegungen annehmen wie dort die Aetheratome, so entsteht diejenige Wellenbewegung, welche wir Schall nennen. Auch in Gasen wägbarer Materie werden sich longitudinale und transversale Wellenbewegungen mit der gleichen Geschwindigkeit fortpflanzen müssen; ebenso Wärmeenergieänderungen, so dass wir von einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärme in Gasen sprechen können, welche gleich der Schallgeschwindigkeit ist, und welche Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich mittels Wärmeschwingungen, die ein Analogon zu den Hertzschen elektrischen Schwingungen bilden, bestimmen lassen muss, beispielsweise durch Interferenzmessungen.

Wir denken uns in anschaulicher Weise eine Wärmewellenbewegung von passender Wellenlänge erzeugt durch ein galvanisch erhitztes auf einer Stimmgabelzinke befestigtes und mit ihr schwingendes Drahtstück. Wirkungsvollere Wärmewellenbewegungen müssen ausgehen von einem feststehenden kurzen dünnen, zwischen dicken Metallkörpern eingelöteten Platinbleche, durch welches starke elektrische rasch intermittierende oder Wechselströme kurzer Periode gesandt werden.

Solche Wärmeschwingungen und -Wellenbewegungen sind ihrer Erzeugung nach etwas ganz anderes als die Schallschwingungen und -Wellenbewegungen, wie auch die Hertzschen elektrischen Schwingungen etwas anderes sind als die optischen Schwingungen. Bei allen diesen Wellenbewegungen muss sich aber das Vorhandensein der allen Wellenbewegungen typisch zukommenden Erscheinungen, wie Brechung, Reflexion, Interferenz (Polarisation) u. s. w., nachweisen lassen.

Durch Analogieschlüsse wird man von der entsprechenden elektrischen Erscheinung zu der Vermutung geführt, dass in Gasräumen alle warmen Körper sich abstossen. Mit Berücksichtigung von Archimedes' Prinzip finden wir, dass in einem Gase von bestimmter Temperatur zwei Körper, welche beide wärmer oder beide kälter sind, als das umgebende Gas, sich abstossen werden; ist der eine wärmer, der andere kälter als dieses Gas, so werden sie sich anziehen. Die nach unserem System auftretenden Kräfte der Wärmeabstossung sind indessen klein gegen die Kräfte der elektrischen Abstossung, wie der durch die bewegten Gasmolekeln erzeugte Druck klein ist gegen den durch die bewegten Aetheratome erzeugten Druck. Mit anderen Worten: jene abstossenden Kräfte warmer Körper verhalten sich unter sonst gleichen Umständen zu denjenigen elektrisierter Körper ungefähr wie der Gasdruck des Raumes, in welchem die Kräfte bestimmt werden sollen, zu der stärksten beobachteten Kohäsionskraft. Denn durch diese wird ja, wie oben gezeigt wurde, der Aetherdruck wenigstens annäherungsweise gemessen.

Aggregatzustände.

In einem Raume mögen sich ausser dem gasförmigen Aether noch wägbare Molekeln in grosser Zahl befinden. Die absolute

Temperatur der entsprechenden wägbaren Substanz wird durch die mittleren Quadrate der Molekulargeschwindigkeiten gemessen. Die Molekeln können in dem Aether relativ in Ruhe sein; denn die mit grossen Geschwindigkeiten hin- und herzuckenden Aetheratome übertragen keine fortschreitende Geschwindigkeit auf dieselben, wenn ihre Stösse von allen Seiten gleich stark und gleich zahlreich erfolgen, wie auch Körpern in Gasräumen unter ähnlichen Bedingungen durch die Stösse der Molekeln keine fortschreitenden Bewegungen erteilt werden. Die Temperatur eines Körpers ist sonach unabhängig von demjenigen Bewegungszustand des ihn umgebenden gasförmigen Aethers, welchen wir als Elektrizität definiert haben. Eine Bewegung in den Molekeln ist allerdings proportional der Intensität jener Aetherbewegung: die Bewegung der Aetherhülle der Molekel; denn ihr Aether wird seinerseits in lebhafter, unregelmässig zuckender Bewegung sich befinden, und diese Bewegung ist um so heftiger, je zahlreicher und heftiger die Stösse der Aetheratome des umgebenden Raumes sind. Demnach ist die Dichte eines Körpers nicht unabhängig von dem Bewegungszustand des ihn umgebenden Aethers.

Die Molekeln mögen sich in dem Aetherraume ohne jede eigene fortschreitende Bewegung befinden. Berühren sich aus irgend einem Grunde zwei solcher Molekeln, so haften sie fest aneinander; der Druck des gasförmigen Aethers presst sie zusammen, überträgt Energie auf dieselben, welche in andere Energieformen übergeht, so dass die Molekeln ohne entsprechenden Energieaufwand nicht mehr voneinander gerissen werden können. Wird das Molekelpaar von einer dritten Molekel in gleicher Weise berührt, so bleibt auch diese haften. Wenn endlich alle Molekeln einander berühren, aneinander haften, und wenn die einzelnen Molekeln dabei keine eigenen fortschreitenden Geschwindigkeiten relativ zu einander besitzen, so haben wir einen einzigen Körper vor uns von der absoluten Temperatur Null, gemäss unserer Definition der absoluten Temperatur.

Verfolgen wir nun die Veränderungen, welche mit einem Körper vor sich gehen, wenn dessen Molekeln zuerst in absoluter Ruhe sich befinden, wenn denselben sodann Geschwindigkeiten von steigenden Beträgen erteilt werden!

Ein Körper, dessen Molekeln keinerlei relative Bewegungen

zu einander besitzen, befindet sich im festen Aggregatzustand, den wir dadurch definieren, dass jede Molekel in demselben nur durch eine gewisse endliche Kraft aus dem Verbande, welchen sie mit ihren Nachbarmolekeln eingegangen ist, gelöst werden kann. Die Kräfte, welche bewirken, dass die Molekeln aneinander haften, sind die Gravitation und insbesondere die Kohäsion; die letztere rührt her von dem Drucke der heftig bewegten Aetheratome, die den Körper umgeben, und ist proportional der Fläche, an welchen die Molekeln sich in ihren deformierten Aetherhüllen berühren.

Nun führen wir dem betrachteten Körper von aussen Wärme zu, das heisst, wir bringen seinen Molekeln relative Geschwindigkeiten zu einander bei, von immer steigenden Werten. Je stärker die Molekeln infolgedessen sich bewegen, in unregelmässigen Zuckungen, um so weiter müssen sie sich im Mittel voneinander entfernen. Der Körper dehnt sich aus, nach Maassgabe der zugeführten Wärmemenge. Dabei nimmt die Gravitationskraft, welche umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes der Teilchen wirkt, ab mit vergrössertem Abstande der Molekeln; es nimmt die Kohäsionskraft ab mit der Grösse der Berührungsfläche zweier molekularer Aetherhüllen. Der vergrösserte Abstand der Molekeln ist aber kein bestimmter, sich gleich bleibender, sondern vermöge der Zuckungen der Molekeln ein Mittelwert fortwährend wechselnder Abstände. Auch die Grösse der Berührungsfläche zweier molekularer Aetherhüllen ist eine wechselnde. Beim Zusammenstossen zweier Molekeln wird der Abstand ihrer Mittelpunkte kleiner, die Berührungsfläche jener Aetherhüllen grösser werden, als wenn die Molekeln in absoluter Ruhe nebeneinander liegen: beim Auseinanderfahren wird das Umgekehrte eintreten. Die für Gravitations- und Kohäsionskräfte in Betracht kommenden Werte sind also gleichfalls Mittelwerte, und wegen der verwickelten Abhängigkeit dieser Kräfte von den Entfernungen ist es nicht gesagt, dass bei Wärmezufuhr jene Mittelwerte unbedingt abnehmen müssten. Wenn sie aber abnehmen, so wird die zugeführte Wärmeenergie umgewandelt in die kinetische Energie der Molekeln, welche auf gewisse relative Geschwindigkeiten gebracht werden; in die von Gravitations- und Kohäsionskräften bezw. vom Aetherdrucke herrührende potentielle Energie, welche der

neuen Lage der Molekeln in ihren grösseren Abständen zukommt; und endlich in die kinetische Energie desjenigen Aethers, welcher wegen jener Abstandsvergrösserung aus den molekularen Aetherhüllen in den gasförmigen Aggregatzustand übergehen muss.

Solange bei diesen Bewegungen die einzelnen Molekeln nicht frei beweglich werden, bleibt der Körper im festen Aggregatzustande. Führen wir demselben aber mehr und mehr Wärme zu, so werden die Zuckungen der Molekeln immer heftiger. Diese nehmen einen immer höheren Grad der Beweglichkeit an. Schliesslich kann sich eine besonders stark zuckende Molekel an der Oberfläche des Körpers, in der Schwingungsbewegung nach aussen, also in zunehmender Entfernung von ihren nächsten Nachbarn begriffen, so weit von ihrer bisherigen erzwungenen Gleichgewichtslage entfernen, dass sie sich ganz ablöst, gar nicht mehr in dieselbe zurückkehrt. Zwar ist ihr bei dieser Bewegung nach auswärts ihre Geschwindigkeit teilweise genommen worden, kinetische Energie ist in potentielle Energie, welche ihrer neuen Lage zukommt, umgewandelt worden; bei weiteren Berührungen mit dem festen Körper wird ihr aber durch letzteren wieder so lange Wärme zugeführt, bis sie im Temperaturgleichgewichte mit demselben steht. Der feste Körper kühlt sich um einen entsprechenden Betrag ab.

In ähnlicher Weise lösen sich andere Molekeln von dem festen Körper los. Jedem Ablösen entspricht eine Volumenvergrösserung gegen den freien gasförmigen Aether hin (vgl. S. 31 und S. 35), und dementsprechend muss für das Loslösen jeder Molekel ein ganz bestimmter Energiebetrag, in Form von Wärme, dem festen Körper zugeführt werden. Diese Energie dient dazu, die sich ablösende Molekel von ihrer anfänglichen auf die dem Gaszustande entsprechende Geschwindigkeit zu bringen; ferner dient sie zur Ueberwindung des Aetherdrucks auf einem entsprechenden Wege, zur Umwandlung eines Teils der Aetherhülle in gasförmigen Aether, und endlich zur Ueberwindung der Gravitationskraft, welche nunmehr zwischen den Molekeln noch geringere Wirksamkeit besitzt, als zuvor. Die frei gewordenen Molekeln befinden sich im gasförmigen Aggregatzustande, welchen wir schon früher genügend gekennzeichnet haben. Der feste Körper geht bei fortgesetzter Wärmezufuhr allmählich durch **Verdampfung** unmittelbar in Gasform über,

und zwar zuletzt vollständig, wenn er genügend klein ist im Verhältnis zu dem Aetherraume, welcher seinen gasförmig gewordenen Molekeln zur Ausbreitung dargeboten wird. Die Wärme, die dem festen Körper in diesem Zustande zugeführt wird, bewirkt nur den Uebergang der Molekeln aus dem festen in den gasförmigen Aggregatzustand, aber keine merkliche Temperatursteigerung jenes Körpers: seine Temperatur bleibt konstant. Die für diesen Verdampfungsvorgang der Masseneinheit zuzuführende Wärmemenge wollen wir als die „absolute Verdampfungswärme“ bezeichnen.

Ist umgekehrt der dargebotene Aetherraum wenig ausgedehnt im Verhältnis zu dem in ihm befindlichen Körper, oder ist der letztere selber so gross, dass die von ihm auf seine sich ablösenden Molekeln ausgeübte Gravitationskraft grössere Werte erhält und vergleichbar wird mit der Kohäsionskraft, so tritt ein Hindernis gegen die Verdampfung auf. Gehen nämlich immer mehr Molekeln in den gasförmigen Aggregatzustand über, so übt der entstehende Dampf einen mit der Zahl der verdampften Molekeln zunehmenden Druck auf die Oberfläche des verdampfenden Körpers aus, welcher zu berücksichtigen ist. Dieser Druck presst die Molekeln des festen Körpers zusammen, ganz ähnlich wie der Aetherdruck und die Gravitationskraft, und den drei Kräften, welchen die Elastizitätskräfte der Molekeln entgegenwirken, kann ein weiterer Gleichgewichtszustand der molekularen Lagerung entsprechen.

Nach Maassgabe der Wärmezufuhr wird unser fester Körper in Dampf übergeführt. Es entsteht in seiner Umgebung ein Dampfdruck, welcher unter den soeben gemachten Voraussetzungen grösser wird, bis ein gewisser Grenzwert erreicht ist, den man den **Sättigungsdruck** des Dampfes für die betreffende Temperatur des Körpers nennt. Wird nun dem Körper noch mehr Wärme zugeführt, so werden durch diese Energie, ganz ähnlich wie vorher, Kohäsionskraft bezw. Aetherdruck und Gravitationskraft überwunden. Es lösen sich Molekeln los, gewinnen eine freiere Beweglichkeit. Zwei benachbarte Molekeln können sich vorübergehend sogar so weit voneinander entfernen, dass ihre Aetherhüllen sich gar nicht mehr berühren. Die Zahl dieser abgelösten Molekeln ist proportional der zugeführten Wärmemenge. Doch vermögen die Molekeln nicht völlig frei

beweglich, gasförmig zu werden, weil der neu hinzugekommene Gas- oder Dampfdruck sie davon abhält; oder anders ausgedrückt: in diesem Zustande wird fortwährend eine gleich grosse Zahl gasförmiger Molekeln vom Körper wieder eingefangen, als Molekeln verdampfen. Die Molekeln bleiben also in anderer Weise an den Körper gebunden, als zuvor. Es entsteht unter dem Einflusse jener genannten Kräfte ein neuer Gleichgewichtszustand unter den Molekeln, welchen man den flüssigen Aggregatzustand nennt und dadurch definiert, dass jede Molekel in demselben teilweise frei beweglich ist, dass sie schon durch die kleinste Kraft von ihren Nachbarmolekeln bleibend getrennt werden kann. Bei bestimmten Temperaturen können Substanzen in allen drei Aggregatzuständen gleichzeitig nebeneinander bestehen bleiben, so lange ihr Wärmeinhalt höchstens um gewisse Beträge geändert wird.

Dem festen Körper kann nun, ohne dass seine Temperatur gesteigert wird, unter dem Einflusse des Sättigungsdruckes so lange Wärme zugeführt werden, bis alle seine Molekeln aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand übergegangen sind. Letzteren Vorgang nennt man **Schmelzung**; die für dieselbe der Masseneinheit zuzuführende Wärmemenge die Schmelzungswärme. Die Schmelztemperatur wird von dem Gas- oder Dampfdrucke, welcher auf dem Körper lastet, nur wenig abhängen, aber nicht *ganz* unabhängig von ihm sein, weil jenem Gasdrucke im Verhältnis zum Aetherdrucke von uns stets nur geringe Werte gegeben werden können.

Nach vollständigem Ablauf des Schmelzvorganges haben wir in unserem Aetherraume nur noch die flüssige Substanz und ihren Dampf; die beiden setzen sich bei Temperaturschwankungen über der Schmelztemperatur durch Verdampfung von Flüssigkeit oder durch Kondensation von Dampf in dasjenige Gleichgewicht, bei welchem der Dampf den entsprechenden Sättigungsdruck besitzt [1]. Führen wir nämlich jener Mischung Wärme zu, so er-

[1]) Analoge Wechselwirkungen müssen zwischen dem gasförmigen Aether und den Aetherhüllen der wägbaren Atome zu stande kommen. Dampfdruck und Kohäsionskraft fallen aber dabei in eine Kraft, den Aetherdruck, zusammen, welcher vereint mit der Gravitationskraft die Aetheratome an die wägbaren sehr dichten Atome fesselt und dieselben im flüssigen Zustande erhält.

höht sich deren Temperatur. Mit dieser erhöht sich aber der Sättigungsdruck und es wird Flüssigkeit so lange verdampfen, bis das neue Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Dampf hergestellt ist. Bei fortdauernder Wärmezufuhr können wir es erreichen, dass schliesslich alle vorhandene Flüssigkeit verdampft, und wenn wir den in diesem Zustande eben noch gesättigten Dampf weiter erhitzen, geht er in den überhitzten Zustand über.

Je weniger Flüssigkeit in unserem Raume zugegen war, um so früher ist bei der Wärmezufuhr diejenige Temperatur erreicht, bei welcher der letzte Flüssigkeitstropfen verdampft und die Ueberhitzung des Dampfes beginnt. Wie viel Flüssigkeit aber auch vorhanden sein möge, stets können wir durch genügende Temperatursteigerung bewirken, dass alle Flüssigkeit in Gasform übergehen muss. Wie nämlich über seiner Schmelztemperatur der Körper nicht mehr als fester Körper bestehen kann, sondern in den gasförmigen bezw. flüssigen Aggregatzustand übergehen muss, so giebt es für jede Substanz eine gewisse Temperatur, welche man nach Andrews **kritische Temperatur** nennt, bei welcher die Molekulargeschwindigkeiten so grosse sind, dass die für uns verfügbaren Kräfte in keinem Falle mehr genügen, um die Molekeln am Aneinanderhaften zu veranlassen. Der Körper vermag nicht mehr im flüssigen oder gar im festen Aggregatzustande zu bestehen, wie sehr wir ihn auch zusammenpressen. Bei allen über seiner kritischen liegenden Temperaturen kann der Körper nur noch Gasform besitzen.

Die Verhältnisse werden verwickelter, wenn ausser der betrachteten noch eine andere Substanz im Aetherraume vorhanden ist, beispielsweise ein Gas, welches selbständig einen Druck auf unsere Substanz ausübt. Durch diesen Gasdruck wird die Verdampfung beeinträchtigt; sie wird zwar nicht verhindert, kann aber doch verzögert werden. Ist nämlich der Gasdruck grösser als der jeweilige Sättigungsdruck des Dampfes, so geht die Verdampfung nur langsam vor sich, bis der Druck des sich entwickelnden Dampfes für sich gleich dem Sättigungsdrucke, welcher der vorhandenen Temperatur entspricht, geworden ist. Man nennt den Verdampfungsvorgang in diesem Falle **Verdunstung.** Ist der Gasdruck gleich dem Sättigungsdrucke oder kleiner als dieser, so verdampft die feste oder flüssige Substanz rasch, letztere mehr oder weniger durch die ganze Masse hin-

durch. Die Temperatur, bei welcher die Verdampfung, das **Sieden**, zu stande kommt, wenn der äussere Gasdruck gleich dem Sättigungsdrucke ist, heisst Siedetemperatur. Die Wärmemenge, welche zu dieser Verdampfung unter äusserem Drucke für die Masseneinheit zuzuführen ist, nennt man Verdampfungswärme schlechtweg. Siedetemperatur und Verdampfungswärme sind abhängig vom Drucke, unter welchem die Verdampfung vor sich geht.

Der Gasdruck muss anderseits die Verdunstung befördern, auch unterhalb der Schmelztemperatur, bei Körpern mit entsprechend geringer Kohäsion, wegen der grossen Verschiedenheiten in den Molekulargeschwindigkeiten des gasförmigen Aggregatzustandes. Feste Körper können nur unmittelbar verdampfen, ohne den flüssigen Aggregatzustand jemals durchzumachen, wenn es uns nicht gelingt, den äusseren auf ihnen lastenden Druck so sehr zu steigern, dass derselbe ihrem zugehörigen Sättigungsdrucke gleichkommt.

Maxwells Gesetz der Geschwindigkeitsverteilung.

Für den gasförmigen Aggregatzustand hat Maxwell ein Geschwindigkeitsverteilungsgesetz abgeleitet, nach welchem bei den Molekeln alle Geschwindigkeiten von Null bis Unendlich vertreten sind. Die beiden Grenzwerte Null und Unendlich haben indessen nur eine verschwindend kleine Wahrscheinlichkeit, während gewisse mittlere Geschwindigkeiten, je nach der Temperatur von grösserem oder geringerem Werte, die grösste Wahrscheinlichkeit besitzen. Aehnliche Ungleichheiten der Geschwindigkeiten werden bei den Molekeln eines flüssigen Körpers anzutreffen sein; jedoch können unendlich grosse oder nur übermässig grosse Geschwindigkeiten in seinem Inneren schon gar nicht mehr vorkommen, weil die Molekeln nie in ganz freien Bahnen sich bewegen, sondern stets gegen benachbarte Molekeln stossen. Daher muss sich eine gewisse Gleichmässigkeit der Molekulargeschwindigkeiten im ganzen Flüssigkeitsinneren ausbilden. Noch grösser wird diese Gleichmässigkeit sein bei festen Körpern, bei welchen die Molekeln fest an ihre Nachbarn gebunden, an ganz bestimmte Gleichgewichtslagen gefesselt sind.

Hat ein Gas oder ein Dampf mit einem festen oder flüssigen

Körper eine gemeinsame Berührungsfläche und haben die beiden betreffenden Substanzen gleiche Temperatur, so bedeutet dies das folgende: Durch die Zusammenstösse der gasförmigen Molekeln mit denjenigen des festen oder flüssigen Körpers in der gemeinsamen Grenzfläche erleiden die Mittelwerte der Molekulargeschwindigkeiten beider Substanzen keine Aenderung. Wenn nun in Flüssigkeiten und in festen Körpern die wahren Molekulargeschwindigkeiten von ihren Mittelwerten wenig abweichen, so werden in einem begrenzten Raume, dessen Wandungen aus festen oder flüssigen Körpern bestehen und welcher ein Gas enthält, bei Temperaturgleichheit zwischen den Substanzen der Wandungen und des Gases die Geschwindigkeiten der gasförmigen Molekeln auch eine grössere Gleichmässigkeit aufweisen, als es Maxwells Gesetz verlangt. Betrachten wir zwar eine feste Wand im Sinne der Stossgesetze als starre und vollkommen elastische Wand, so wird jede gegen diese stossende Molekel von derselben mit ihrer anfänglichen Geschwindigkeit zurückprallen. Eine solche Wand wird also an der Geschwindigkeitsverteilung unter den gasförmigen Molekeln keine Aenderung hervorbringen. Allein eine starre Wand giebt es nicht! Die feste Wand besteht vielmehr aus aneinander gelagerten Molekeln, welche zwar durch gegenseitige Kräfte mehr oder weniger aneinander gebunden, welche aber fortwährend in Schwingungen bezw. in Zuckungen begriffen sind. Kommt nun eine gasförmige Molekel mit einer übermässig grossen Geschwindigkeit herangeflogen, so stösst sie in erster Linie auf eine einzelne Molekel des festen Körpers, und wäre letztere frei von allen Nachbarmolekeln des festen Körpers, so würden — gleiche Massen und zentralen Stoss vorausgesetzt — die beiden Molekeln einfach ihre Geschwindigkeiten auswechseln. Solches ist nun nicht der Fall. Die feste Molekel ist an ihre Nachbarmolekeln gebunden. Es wird demnach die gasförmige Molekel beim Zurückprallen eine andere Geschwindigkeit mitnehmen, als diejenige der festen Molekel, nämlich im Mittel annähernd den Clausiusschen Mittelwert der Geschwindigkeit der gasförmigen Molekeln, wegen der Temperaturgleichheit zwischen der festen und der gasförmigen Substanz und wegen der Gleichmässigkeit der Molekulargeschwindigkeiten in festen Körpern. Die feste Molekel dagegen erhält so ziemlich die ganze Energie der mit übermässig grosser Ge-

schwindigkeit angekommenen gasförmigen Molekel, überträgt den Ueberschuss über den mittleren Energiewert auf die ihr benachbarten festen Molekeln, und diese geben denselben weiter an ihre Nachbarn. Nur allmählich wird jener Energieüberschuss an eine grössere Zahl gasförmiger Molekeln zurückgegeben, insbesondere an solche, welche mit übermässig kleinen Geschwindigkeiten an der Wand ankommen.

Demzufolge ist die feste Wand gleichsam ein Geschwindigkeitsregulator für die gasförmigen Molekeln, und ganz ähnlich, wenn auch weniger stark, muss die freie Flüssigkeitsoberfläche wirken. Aus diesen Gründen können unendlich grosse oder auch nur übermässig grosse Geschwindigkeiten in gasförmigen Substanzen, welche mit festen oder flüssigen Körpern gleicher Temperatur in Berührung sind, nicht mehr vorkommen; denn die letzteren Körper sind bestrebt, den gasförmigen Molekeln ihre grössten Geschwindigkeitswerte immer wieder zu nehmen. Aber auch der Aether als widerstehendes Mittel wird einer zu starken Geschwindigkeitssteigerung gasförmiger Molekeln eine Grenze setzen.

Anderseits giebt das Maxwellsche Gesetz die Möglichkeit unendlich kleiner Geschwindigkeiten nicht zu, das heisst, es setzt die Wahrscheinlichkeit derselben gleich Null oder verschwindend klein. Dies kann der Wahrheit gleichfalls nicht entsprechen. Allerdings nehmen gasförmige Molekeln mit unendlich kleinen Geschwindigkeiten an jeder flüssigen oder festen Wand gleicher Temperatur im Mittel wieder den Clausiusschen Mittelwert der betreffenden Molekulargeschwindigkeiten an, wie wir soeben gesehen haben. Nun ist aber zu bedenken, dass zwei gegeneinander mit gewissen sehr kleinen Geschwindigkeiten fliegende Molekeln, nach unseren Entwickelungen über die Aggregatzustände, aneinander haften, dass sie wegen der auftretenden Kohäsionskraft nicht mehr sich zu trennen vermögen und infolgedessen gemeinsam noch langsamer weiter sich bewegen. Aus zwei Molekeln werden, bei der ungeheuren Anzahl vorhandener Molekeln eines jeden Gasraumes, gelegentlich Aggregate von drei, vier und mehr Molekeln. Je mehr solcher Molekeln aneinander haften, um so leichter nehmen sie neue Molekeln gefangen, um so geringer werden im allgemeinen ihre Eigengeschwindigkeiten, so dass gar nicht selten sehr kleine und sogar unendlich kleine Geschwindigkeiten von Molekelaggregaten vorkommen werden.

Nur dann wird es einer einzelnen Gasmolekel gelingen, ein solches Molekelaggregat wieder zu zersprengen, wenn sie mit überaus grosser Geschwindigkeit auf dasselbe stösst, wobei sie selbstverständlich ihre übermässig grosse Geschwindigkeit einbüsst. Also werden durch diese Kondensationsvorgänge gleichfalls überaus grosse Molekulargeschwindigkeiten gemässigt.

In einem Gase, welches im freien Aetherraume mit gar keinen festen oder flüssigen Körpern in Verbindung steht, wird doch teils der Aether als widerstehendes Mittel, teils werden gelegentlich sich bildende Molekelaggregate die übermässig grossen Molekulargeschwindigkeiten noch einigermaassen zu vermindern bestrebt sein; unendlich kleine Molekulargeschwindigkeiten werden erst recht vorkommen. Die Grenzwerte dieser Geschwindigkeiten liegen also weiter auseinander als im begrenzten Raume, weil eben die regulierende Wirkung fester oder flüssiger Wände fehlt [1].

Aehnlich verhält es sich mit dem gasförmigen Aether selber. Sind wägbare Atome in demselben vorhanden, so mildern diese die grössten Ungleichheiten in den Geschwindigkeiten der Aetheratome. Im freien Aetherraume, im interplanetaren Weltäther, fallen solche Wirkungen fast ganz weg, und es sind nur noch gelegentlich sich bildende Aetheratomaggregate von zwei, drei und mehr Atomen, welche geringere Geschwindigkeiten erhalten und welche durch ihre grössere Masse den übermässig rasch auf sie stossenden Aetheratomen ihre grössten Geschwindigkeiten nehmen.

Elastizität.

Allen Substanzen, derjenigen, welche die Aetheratome und denjenigen, welche die wägbaren Atome erfüllen, haben wir eine eigene Elastizität zugeschrieben. Diese Elastizitäten machen sich geltend bei Versuchen über die Elastizität eines wägbaren Körpers, bilden aber nur einen Teil der letzteren. Denn bei Gasen ist der Druck, welcher durch die auf eine Fläche stossenden frei fliegenden Molekeln hervorgebracht wird, gleichbedeutend mit der Kraft ihrer gesamten Elastizität. Bei Flüssigkeiten ent-

[1]) Die Dissociation wirkt gleichfalls einer übermässigen Geschwindigkeitssteigerung entgegen.

steht diese Kraft gleichfalls durch die Stösse der hin- und herzuckenden flüssigen Molekeln, wobei aber die Elastizitäten der Aetherhüllen und der oben erwähnten Substanzen selber schon wirksamer eingreifen. Noch stärker tritt die Wirksamkeit der letzteren gegen diejenige der ersteren Elastizitätsursache hervor bei festen Körpern. Auf der Verschiedenheit der Ursachen dieser Elastizitätskräfte beruht die sprungweise Aenderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Wellenbewegungen beim Uebergange einer Substanz aus einem in einen anderen Aggregatzustand.

Es ist zwar selbstverständlich, mag hier aber doch noch besonders hervorgehoben werden, dass diejenige Schwingungsbewegung irgend einer Substanz, welche in wägbaren Materien eine Schallwellenbewegung hervorruft, Veranlassung geben muss zu einer entsprechenden Aetherwellenbewegung, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet, auch durch den luftleeren Raum hindurch. Zu der Messung einer solchen Energieübertragung haben wir indessen noch keine Mittel gefunden oder doch keine gesucht; die Wirkungen sind ungefähr zehnmillionenmal schwächer als diejenigen in atmosphärischer Luft, also nicht unmessbar.

Oberflächenspannung.

Auf jede Molekel einer Flüssigkeit wirken gegen ihre eigene Elastizität, wenn wir den Flüssigkeitsdruck selber hier nicht berücksichtigen, drei Kräfte, nämlich zum mindesten Teile die allgemeine Gravitationskraft, zu einem grösseren Teile der auf der betreffenden Flüssigkeitsoberfläche lastende Gas- oder Dampfdruck, endlich aber ganz besonders der Aetherdruck, welcher Kohäsions- und Adhäsionskräfte im Gefolge hat. Im inneren von Flüssigkeiten lassen diese Kräfte bei nächstbenachbarten Molekeln keine merklichen Unterschiede erkennen, wohl aber in Flüssigkeitsoberflächen. Alle Vorgänge, welche Molekeln in Flüssigkeitsoberflächen senkrecht zu diesen verschieben, sind mit Energieänderungen verbunden. Wenn nicht von allen, so werden doch Molekeln dabei von einem Teile ihrer nächsten Nachbarn bleibend gelöst, ohne entsprechenden Ersatz; oder der umgekehrte Vorgang tritt ein. Jede ganze oder teilweise Ablösung

einer Molekel von ihren Nachbarmolekeln kann nur durch einen entsprechenden Energieaufwand bewerkstelligt werden. Demzufolge treten Kräfte auf, deren Sitz in der Oberfläche der Flüssigkeit ist und deren Ursache wir Oberflächenspannung nennen. Die Oberflächenspannung sucht die Flüssigkeitsoberfläche zu einer Minimalfläche zu gestalten, welche einer stabilen Gleichgewichtslage entspricht. Denn jede, auch die kleinste Vergrösserung einer Flüssigkeitsoberfläche muss mit einem Energieaufwand verbunden sein, weil dabei Molekeln aus einer inneren Lage, in welcher sie nach allen Seiten gleichmässig an Nachbarmolekeln gebunden sind, übergeführt werden in die Oberfläche, wo dies nach einer Seite hin nicht mehr der Fall ist.

Gestalt und Lagerung der Atome.

Trotz ihrer scheinbaren Einfachheit verzichten wir auf die Hypothese, dass alle chemischen Elemente auf einen und denselben Grundstoff, alle wägbaren Atome auf eine einzige Substanz zurückführbar seien, aus genügend bekannten Gründen. Dagegen nehmen wir an, die Atome seien in der Regel einfachere Gebilde. Wir dürfen aber nicht nach Belieben geometrische Formen unter die wägbaren Atome verteilen; vielmehr wird uns unser Weg mit grosser Bestimmtheit vorgeschrieben: durch die Spektralanalyse, durch den Kirchhoffschen Satz von der Proportionalität der Emission und der Absorption, durch die Wertigkeitsverhältnisse, durch unsere bisherigen Entwickelungen. Dass die Atomformen verschiedener chemischer Elemente verschiedene sind, dass sie im allgemeinen wesentlich von der Kugelform abweichen, dafür sprechen die Kristallformen und kristallinischen Gefüge, welche bei solchen Elementen häufig genug vorkommen, wie beim Diamanten und bei vielen Metallen; dafür sprechen ferner die zahlreichen Spektrallinien des Lichtes, welches von irgend einem der Elemente in glühendem, gasförmigem Zustande ausgestrahlt wird.

Sendet ein Element Licht aus von bestimmter Wellenlänge, so müssen Teilchen desselben Schwingungen von der betreffenden Periode ausführen können. Am einfachsten liegen die Verhältnisse, wenn das Element gasförmig ist, wenn es einfache freie Molekeln oder Molekelpaare sind, welche das Licht aus-

strahlen. Weil Licht eine Aetherwellenbewegung ist, und weil wir die wägbaren Atome als von Aetherhüllen eingeschlossen angenommen haben, so muss Aether dieser Atomhüllen bezw. Aether der Molekelhüllen oder der Hüllen von Molekelaggregaten derjenigen Schwingungen fähig sein, welche in ihrer Periode den von uns gemessenen Lichtwellenlängen entsprechen. Zu einem analogen Schlusse führen Betrachtungen bezüglich der Lichtabsorption. Suchen wir also die in den Molekeln möglichen Aetherschwingungen!

Die Molekel bestehe aus einem einzigen, kugelförmigen, wägbaren Atome mit seiner gleichfalls kugelförmigen Aetherhülle. Welcher selbständiger Schwingungen ist dieser Aether fähig?

Der Aether ist elastisch, die Aetherhülle desgleichen. Die ganze Aetherhülle kann also gegen das wägbare Atom sich zusammenziehen und sich wieder ausdehnen, etwa infolge eines stossweise ausgeübten hydrostatischen Druckes: es sind „Radialschwingungen" des Aethers dieser Molekel möglich. Erleidet ferner die Molekel irgendwo von einer Seite her einen Stoss, so wird ihre Aetherhülle dort zusammengedrückt, sie weicht aus, baucht sich rings um die Stossstelle aus; eine kleine Aetherwelle entsteht und pflanzt sich auf die entgegengesetzte Seite der Molekel fort. Wir nennen die davon herrührenden Aetherschwingungen „Querschwingungen". Endlich treten bei einem exzentrischen Stosse Tangentialkräfte plötzlich auf, welche in der Aetherhülle reine „Tangentialschwingungen" hervorrufen müssen. Ist die betreffende Einwirkung vorbei, so wird die erzeugte schwingende Bewegung der Aetherhülle wegen der vollkommenen Elastizität des Aethers bis zu einer neuen Einwirkung, bis zu einem neuen Stosse erhalten bleiben, wenn nicht die Ausstrahlung der entsprechenden Lichtwellenbewegung einen zu grossen dämpfenden Einfluss ausübt.

Ferner besitzt die Substanz des wägbaren Atoms auch noch ihre eigene Elastizität. Es wird das wägbare Atom durch stossweise ausgeübten hydrostatischen Druck gleichfalls sich zusammenziehen, nachher sich wieder ausdehnen, also Radialschwingungen machen; es wird Querschwingungen und Tangentialschwingungen ausführen müssen, in gewisser Beziehung analog den oben für die Aetherhülle erläuterten, wenn es einseitig zentrisch oder exzentrisch gestossen wird. Die Schwingungen

des an Masse seiner Aetherhülle weit überlegenen wägbaren Atoms werden der letzteren mitgeteilt; diese wird zum Mitschwingen gezwungen.

Verwickeltere Schwingungsbewegungen dieser Molekel lassen sich in die genannten einfachen Schwingungen zerlegen, werden demnach von unserem Spektralapparate analysiert, in ihre einfacheren Bestandteile aufgelöst.

Danach kann die Aetherhülle der einfachsten Molekel, welche wir uns denken können, die kugelige Aetherhülle eines einzigen kugelförmigen wägbaren Atoms bereits sechs verschiedene Schwingungsarten ausführen, nämlich drei Eigenschwingungen: die Radial-, die Quer- und die Tangentialschwingungen, sodann drei vom wägbaren Atome übertragene erzwungene Schwingungen: die Radial-, die Quer- und die Tangentialschwingungen. Diese sechs Schwingungsarten in der molekularen Aetherhülle werden zu sechs entsprechenden in der Regel verschiedenen Lichtwellenbewegungen Veranlassung geben. Es ist dabei möglich, dass die sechs Schwingungsarten, welche je nach ihrer Entstehungsursache in ganz verschiedenen Intensitäten auftreten, noch kombinierte Lichtwellenbewegungen erkennen lassen, nach Art der von Helmholtzschen Kombinationstöne.

Aetherschwingungen kommen in der Molekel wirklich zu stande, wenn dieselbe einen solchen einseitigen zentrischen oder exzentrischen Stoss, oder wenn sie von mehreren Seiten gleichzeitige Stösse erhält. Im ersten Falle treten vorzugsweise die Querschwingungen bezw. diese verbunden mit Tangentialschwingungen, im zweiten seltenen Falle besonders stark die Radialschwingungen auf. Letztere werden also vermutlich bei unserer Wahrnehmung schwächer erscheinen als die Tangentialschwingungen, diese wieder schwächer als die Querschwingungen.

Im Augenblicke des Zusammenstosses zweier Molekeln sind aber neue Schwingungsarten bezw. Schwingungszahlen möglich und wahrscheinlich. Denn wir haben nun nicht mehr einfache Kugelformen vor uns, sondern zwei sich berührende wägbare Atome mit sich berührenden Aetherhüllen, so dass die ersteren sowohl, als auch die letzteren während des Stosses fortwährend ihre Gestalt ändern. In jeder einzelnen gegenseitigen Lage der beiden aneinander gedrückten Molekeln werden ihre Aether-

hüllen ganz verschiedene Eigenschwingungen ausführen können und müssen, weil ihre Gestalt jeweilen eine ganz andere ist, und, was besonders hervorgehoben werden mag, sie werden während der ganzen Dauer eines Zusammenstosses zwischen gewissen Grenzen aller möglichen Schwingungen fähig sein. Unsere zwei möglichst einfachen Molekeln geben also während ihres Zusammenstosses doch zu zahlreichen verschiedenen Lichtwellenbewegungen Veranlassung. Aber auch die Eigenschwingungen der wägbaren Atome selber werden entsprechend veränderlich sein, solange der Stoss dauert.

Stösst eine dritte Molekel auf ein bereits in Berührung befindliches Molekelpaar, so werden wieder ganz andere Schwingungsarten und Schwingungszahlen möglich sein; noch verwickelter werden die Verhältnisse, wenn vier oder mehr Molekeln gleichzeitig zusammentreffen.

Ist eine genügende Anzahl gleichartiger Molekeln unserer Substanz gleichzeitig Licht aussendend, das heisst fortwährenden Zusammenstössen von genügender Heftigkeit ausgesetzt, so werden alle möglichen Schwingungsarten und Schwingungszahlen wirklich zu stande kommen. Es wird ein Spektralapparat, welcher alle diese Wellenbewegungen aufnehmen kann, nach unseren Erläuterungen zwei helle scharfe Linien zeigen, den genannten freien und erzwungenen Querschwingungen der Molekelhüllen entsprechend; zwei scharfe Linien, den beschriebenen Tangentialschwingungen entsprechend; zwei scharfe Linien, jenen Radialschwingungen entsprechend; ferner den Zusammenstössen zweier Molekeln entsprechend sechs Banden von gewisser Breite, welche sich an jene Spektrallinien anlegen; weitere Banden, den gleichzeitigen Zusammenstössen von drei und mehr Molekeln entsprechend; und endlich diejenigen Spektrallinien, welche durch Kombination der Schwingungszahlen der wirklich ausgesandten Wellenbewegungen im aufnehmenden Spektralapparate erst entstehen (analog den Kombinationstönen). Dabei ist nicht notwendig, dass jedes Molekelpaar oder allgemeiner jede Molekelgruppe beim Zusammenstosse Licht von allen denjenigen Wellenlängen erzeuge, welche wir mit dem Spektralapparate — insbesondere in den Banden — wirklich beobachten. Es sind vielmehr, wenn uns eine solche Beobachtung überhaupt gelingt, immer ungeheure Zahlen von Molekeln in entsprechen-

der Bewegung begriffen, und was wir beobachten, sind die Summen aller Einzelwirkungen.

Die Helligkeit jeder einzelnen Spektrallinie hängt ab von der Stärke der betreffenden Schwingungsart. Bei den scharfen Spektrallinien wird die Helligkeit zunehmen mit der Zahl der Zusammenstösse der Molekeln und mit der Heftigkeit dieser Zusammenstösse, also mit der Molekulargeschwindigkeit im Augenblicke des Stosses, mit der Temperatur. Die Helligkeit der Banden wird gleichfalls zunehmen mit der Zahl der zusammenstossenden, Licht aussendenden Molekeln; ihre Breite muss abhängen von der Grösse der Abplattung der Molekeln, also von der Molekulargeschwindigkeit, von der Temperatur.

Hat unsere Molekel die nächst weniger einfache Gestalt, besteht sie nämlich aus einem Rotationsellipsoid als wägbares Atom, umgeben von einer entsprechenden Aetherhülle, so kann diese Aetherhülle schon viel mehr Schwingungsbewegungen ausführen, wie sogleich gezeigt werden soll. Wird die Molekel durch einen nur augenblicklich wirkenden hydrostatischen Druck zusammengepresst, so führt ihr wägbares Atom diejenige Art von Schwingungen aus, welche wir bei der Kugel „Radialschwingungen" genannt haben. Die hier vorliegende Gestalt eines Rotationsellipsoides wird dabei eine doppelte Schwingungsbewegung zur Folge haben: eine achsiale Schwingungsbewegung von gewisser Periode im Sinne der Zusammenziehung nach der Richtung der Rotationsachse unseres Ellipsoides hin, und eine radiale Schwingungsbewegung von anderer Periode im Sinne der gleichzeitig von allen Seiten erfolgenden Zusammenziehung senkrecht zu der Achsenrichtung des Ellipsoides. — Wird die Molekel durch einseitigen Stoss zentrisch getroffen, in der Achsenrichtung des Rotationsellipsoides, so wird eine Längsschwingung des wägbaren Atoms erfolgen; erhält sie einen zentrischen Stoss im Aequator des Rotationsellipsoides, so ergiebt sich eine entsprechende Querschwingung jenes Atoms von anderer Schwingungszahl; und kommt der Stoss an irgend einer anderen Oberflächenstelle zu stande, so führt das wägbare Atom eine Schwingungsbewegung aus, welche in die beiden genannten Längs- und Querschwingungen zerlegt werden kann. Diese beiden Schwingungsarten entsprechen bei der Kugel den „Querschwingungen". — Durch den exzentrischen Stoss werden ausser-

dem „Tangentialschwingungen“ erzeugt, deren Periode eine andere sein wird am Ende der Rotationsachse, als am Aequator des Rotationsellipsoides, so dass aus dieser Ursache mindestens zwei verschiedene Arten von Tangentialschwingungen im wägbaren Atome hervorgehen werden.

In analoger Weise verdoppeln sich die Schwingungsarten der molekularen Aetherhülle selber. Die aus solchen ellipsoidischen Molekeln gebildete Substanz kann somit Licht von der doppelten Zahl von scharfen Spektrallinien und von der doppelten Zahl von Banden hervorbringen, als die Substanz mit den einfachen kugeligen Molekeln, wenn wir dabei allfällig über einander gelagerte, sich also verstärkende Banden doppelt zählen. Von diesen Banden hängen übrigens in der Regel zwei und zwei zusammen, bilden ein einziges breiteres Band. Die ellipsoidischen Molekeln stossen nämlich nicht ausschliesslich in Punkten ihrer Rotationsachse und ihres Aequators, sondern in allen möglichen Punkten ihrer Oberflächen aneinander. Daher müssen während der verschiedenen Zusammenstösse unzähliger Molekeln alle zwischen jenen oben beschriebenen Grenzschwingungszuständen befindlichen anderen Schwingungszustände auch vorhanden sein.

Bilden wir eine Molekel aus einem wägbaren Atome von der Gestalt eines dreiachsigen Ellipsoides, umgeben von der entsprechenden Aetherhülle, so nehmen die möglichen Schwingungszustände wiederum zu, im Verhältnis von 3 zu 2 verglichen mit der aus einem Rotationsellipsoid bestehenden Molekel. Noch verwickelter wird die Untersuchung, wenn die Molekel aus einem wägbaren Atome von ganz anderer Form besteht, wenn dieses von einer überall konvexen Fläche höherer Ordnung begrenzt wird. Verwickelter als die betrachteten Fälle sind ferner diejenigen, in welchen wir den einatomigen Molekeln als Atomform einen Würfel, ein Parallelepipedum, ein Prisma, ein Tetraeder, einen Cylinder von rundem, ovalem oder von eckigem Querschnitte, eine beliebige Stäbchenform beilegen. Wir kommen damit bald zu sehr grossen Zahlen möglicher Schwingungsbewegungen.

Die Molekeln der chemischen Elemente sind teilweise nicht ein-, sondern zwei- und sogar dreiatomig. Die daraus hervorgehende Molekelgestalt lässt eine entsprechend grössere Zahl

von Schwingungszuständen in der zugehörigen Substanz voraussehen. Der mathematischen Physik aber, und der Experimentalphysik, eröffnen sich hier weite Ausblicke:

Durch Rechnungen und Versuche können möglicherweise die wahren Atom- und Molekelgestalten aus den beobachteten Wellenlängen des ausgestrahlten oder des absorbierten Lichtes bestimmt werden. Nach der Methode der Interferenzen bei grossen Gangunterschieden kann ermittelt werden, wie lange die Licht abgebenden Molekeln bezw. die Atome von Stoss zu Stoss frei fliegen, in den verschiedenen Aggregatzuständen [1]) und besonders auch bei elektrischen Gasentladungen. Wenn die durch die Lichtausstrahlung hervorgerufene Dämpfung der molekularen Aetherschwingungen gross ist, kann aus der Abnahme der Interferenzen mit zunehmenden Gangunterschieden auf die Grösse dieser Dämpfung geschlossen werden, für die verschiedenen Schwingungsarten der Molekeln. Dabei mag man zur Erzielung grösserer Intensitäten monochromatischen Lichtes, als dies mit dem Spektralapparate möglich ist, Glasprismen so zusammensetzen, wie dies beispielsweise in nebenstehender Fig. 4 angedeutet ist. Von diesen Prismensätzen soll nur Licht hindurchgelassen werden von derjenigen Farbe, welche an den Flächen F und f eben noch total reflektiert bezw. eben noch hindurchgelassen wird [2]).

weiss — weiss

monochromatisch — monochromatisch

Fig. 4.

[1]) Die Dauer des Freifliegens gasförmiger Molekeln gestattet einen Rückschluss auf die Stossdauer, welche im Vergleich zu jenem Zeitraume durchaus nicht unendlich klein sein wird.

[2]) In dem Prisma A ist der Winkel φ etwas kleiner als der betreffende doppelte Grenzwinkel der Totalreflexion für diejenige Farbe, mit welcher man arbeiten will; ein Prisma B bewirkt, dass das Lichtbündel bereits mit einer passenden Dispersion in dem Prismensatze A ankommt. Bei dem

Besteht die Molekel aus nur zwei Atomen, so ist die Lagerung dieser Atome eine eindeutige, wenn wir ganz absehen von dem Bewegungszustande derselben, oder wenn wir nur die einer bestimmten Temperatur entsprechende mittlere Gleichgewichtslage im Auge behalten. Drei Atome dagegen werden sich je nach den Umständen kettenförmig oder ringförmig aneinander legen. Denken wir zum Beispiel an die Wassermolekel, aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatomen bestehend, letztere wahrscheinlich kleiner als ersteres. In der kettenförmigen Anordnung können wir zwei Arten *HOH* oder *OHH* (Fig. 5), in der ringförmigen Anordnung nur eine einzige Art $\overset{O}{HH}$ der Aneinanderlagerung haben. Im ganzen sind also drei Lagerungen möglich, von denen aber die Anordnung *OHH* so instabil sein wird, dass wir gar nicht nötig haben, Rücksicht auf dieselbe zu nehmen. Die kettenförmige Anordnung *a* der drei Atome und die ringförmige *c* müssen Unterschiede gegeneinander aufweisen, hinsichtlich ihres Molekularvolumens und hinsichtlich ihrer Stabilität bei hohen und bei tiefen Temperaturen. Stellen wir uns vor, beide Molekelformen kommen in der Natur vor! Bei sehr tiefen Temperaturen, denen auch sehr schwache Atombewegungen entsprechen, also insbesondere im festen Aggregatzustande, ist nur die Form *c* stabil; bei sehr hohen Temperaturen, in welchen sich wegen der heftigen Atombewegungen die Wasserstoffatome gegenseitig abstossen, ist die Form *a* allein stabil; bei gewissen Zwischentemperaturen möge die eine Form in die andere übergehen, ohne bedeutende Energieumsetzung; endlich beanspruche

a *HOH*

b *OHH*

c $\overset{O}{HH}$

Fig. 5.

Prisma *C* wird das gewünschte Resultat auch ohne das Hülfsprisma *B* dadurch erreicht, dass die ebenen Flächen *F* und *f* nicht vollkommen parallel geschliffen sind, sondern nach unten verjüngt einen kleinen Winkel mit einander einschliessen. Je kleiner dieser Winkel ist, um so besser wird annähernd monochromatisches Licht erhalten. (Die Flächen *F* und *f* können statt dessen genau parallel geschliffen und mit Balsamen von entsprechend wenig verschiedenen Brechungsexponenten bedeckt werden.) Mit dem Prismensatze *C* erhält man je nach dem Einfallswinkel des weissen parallelen Lichtbündels monochromatisches Licht verschiedener Wellenlängen, mit dem Satze *AB* dagegen nicht ohne weiteres. Die speziellen Berechnungen der Prismenwinkel bieten keine Schwierigkeiten.

bei gleicher Temperatur die Molekelform *c* ein grösseres Körpervolumen als die Molekelform *a*. Nennen wir dann die erstere Form *c* Eismolekel, die letztere Form *a* Wassermolekel, so erklärt sich nun die bekannte Anomalie des Wassers, ein Dichtemaximum bei $+ 4^0$ Celsius zu besitzen, in dem Sinne, in welchem sie von Röntgen gedeutet worden ist, nämlich durch die Annahme, dass im Temperaturintervall von etwa $+ 8^0$ bis 0^0 Wassermolekeln und Eismolekeln miteinander gemischt vorkommen, und zwar mehr Eismolekeln bei den tieferen, mehr Wassermolekeln bei den höheren Temperaturen.

Aehnliche Anomalien sind denkbar — analoge Volumenbeziehungen der Molekeln vorausgesetzt — bei anderen Substanzen mit Molekeln der Atomgruppen x_2y oder xyz, sowie bei zusammengesetzteren Molekeln, sobald ein Atom derselben bei verschiedenen Temperaturen zwei wesentlich verschiedene Gleichgewichtslagen annimmt, ohne dass dadurch eine Isomerie zu stande kommt. Nur dann bleibt im allgemeinen der stetige Gang der Dichte mit der Temperatur gewahrt, während bei Isomerien der einen Verbindung von gewissen Temperaturen an eine wesentlich grössere Stabilität zukommt als der anderen, so dass bei diesen Grenzwerten sprungweise Dichteänderungen erfolgen.

Das Volumen, welches eine feste Molekel beansprucht, ist oft grösser, als dasjenige, welches sie im flüssigen Aggregatzustande einnimmt, bei regelmässiger kristallinischer Anlagerung, weil nur Rücksicht auf alle die Molekeln aneinander pressenden Kräfte, nicht auf eine möglichst günstige Raumausfüllung genommen wird; bei beliebiger Anlagerung, weil Poren oder Risse entstehen, und weil Luft, Gase, Flüssigkeiten in Hohlräumen eingeschlossen bleiben können.

Molekeln von teilweise sehr verwickelter Zusammensetzung bilden sich ganz allgemein als lineare, flächenhafte oder räumliche Atomgruppen, nämlich durch kettenförmige Aneinanderlagerung von Atomen, durch ringförmige oder durch räumliche Anordnung derselben, wie in der Chemie gelehrt und für manche Substanzen bewiesen wird.

Affinität.

In den **chemischen Verbindungen** regelt die Affinität die Aneinanderlagerung der Atome zu Molekeln. Atome, welche

grössere Affinität zu einander haben, vereinigen sich leichter zu einer Molekel als diejenigen geringerer Affinität. Was bedingt aber die Verschiedenheit der Kräfte der Affinität zwischen gleichen oder ungleichen Atomen? Wenn wir unseren Atomen keine neuen Eigenschaften beilegen wollen, so müssen wir insbesondere an die gleichen oder ungleichen Schwingungszustände ihrer Aetherhüllen denken, als Ursache einer geringeren oder grösseren Affinität. Während der Schwingungen der ganzen Atome im Bereich ihrer Molekel nehmen die Berührungsflächen ihrer Aetherhüllen zu und ab; in entsprechendem Maasse wird die Kraft der Affinität grösser und kleiner. Sehr wesentlich kommen nun für diese Schwingungen und für die mittleren Abstände der Atome die Eigenschwingungen der wägbaren Substanz der letzteren, sowie diejenigen ihrer Aetherhüllen, das heisst die früher erläuterten freien und erzwungenen Schwingungen der Aetherhülle jedes Atoms in Betracht, weil sie abstossende Kräfte hervorbringen, welche ganz besonders kräftig auftreten zwischen *gleichen* Atomen mit *gleichen* Schwingungsperioden. Sodann werden Atomgrösse und Atomgestalt, hauptsächlich aber das Atomgewicht einen grossen Einfluss auf jenen Schwingungszustand ausüben und folglich teilweise die Kraft der Affinität bedingen.

Erhitzen wir einen Körper mehr und mehr, so wird die Kraft der Affinität wegen der heftiger werdenden Schwingungen der Atome schliesslich so klein, dass die Atome sich trennen, dass **Dissociation** eintritt. Denselben Vorgang haben wir uns in geringerem Grade bei tieferen Temperaturen zu denken, teilweise in Flüssigkeiten, besonders aber in Gasen und Dämpfen: ein immerwährendes Auflösen einzelner überaus heftig zusammenstossender Molekeln in ihre Atome; bei neuen schwächeren Zusammenstössen werden sich solche Atome wieder zu Molekeln vereinigen. Sind verschiedenartige Atome miteinander vermengt, so müssen infolge der stärkeren Affinität vorzugsweise diejenigen Molekeln entstehen, welche bei der betreffenden Temperatur stabiler sind, als andere aus denselben Atomen hervorgehende Molekeln.

Den verschiedenen Gestalten, welche die verschiedenen Atome haben, wird ihre Wertigkeit entsprechen. Wir wollen andeutungsweise einige Formen mit der Wertigkeit zusammenstellen, indem

wir von der Voraussetzung ausgehen, dass in der Regel an ebenen Flächen eine Anlagerung anderer Atome leichter erfolge, als an stark konvexen Flächen, an Kanten oder an Ecken [1]):

der Halbkugelform eines Atoms entspreche	Einwertigkeit,
der flachen Scheibe (Rotationsellipsoid)	Zweiwertigkeit,
dem dreiseitigen Prisma	Dreiwertigkeit oder Fünfwertigkeit,
dem Tetraeder	Vierwertigkeit,
dem vierseitigen Prisma	Vierwertigkeit oder Sechswertigkeit,
dem Würfel	Sechswertigkeit u. s. w.

Solche Formen werden vielleicht zum Teil nur annäherungsweise erreicht. Ganz verschiedene Formen können gleiche Wertigkeiten aufweisen.

Dem Kohlenstoffatom entspricht beispielsweise das asymmetrische Tetraeder [2]). Dem Stickstoffatom wollen wir das dreiseitige Prisma zuerkennen; der dreiwertige Stickstoff wird nur Anlagerung an den drei parallelogrammatischen Seitenflächen des Prismas zulassen, während bei Fünfwertigkeit auch die beiden dreieckigen Endflächen Atome oder Atomgruppen sich anlagern lassen. Bei dem fünfwertigen Stickstoff würden wir also in van t'Hoffs Darstellungsart [3]) die Anlagerung der Atome durch ein möglicherweise asymmetrisches Doppeltetraeder versinnbildlichen, weil das letztere diejenige Körperform ist, deren Kanten die Mittelpunkte der mit dem Stickstoffatom vereinigten fünf Atome verbindet; dem dreiwertigen Stickstoff käme in dieser Eigenschaft das einfache Dreieck zu.

---

[1]) Für diese Anschauung spricht wohl der Umstand, dass die mit mehreren Valenzen aneinander gebundenen Kohlenstoffatome ungesättigten Verbindungen zukommen; die gesättigten Verbindungen sind die stabileren.

[2]) Van t'Hoff: Lagerung der Atome im Raume, 2. Aufl. S. 5. Braunschweig 1894. In dessen Darstellungsart nimmt das Kohlenstoffatom die Mitte desjenigen gleichfalls asymmetrischen Tetraeders ein, welches entsteht, wenn die Mittelpunkte der vier angelagerten Atome geradlinig miteinander verbunden werden; die Ecken dieses Tetraeders befinden sich also ausserhalb und über den Begrenzungsflächen des wirklichen Kohlenstofftetraeders.

[3]) id. vgl. S. 136.

Licht.

Wir haben gesehen, welcher Schwingungen die Atome mit ihren Aetherhüllen, welcher Bewegungen die aus ihnen zusammengesetzten Molekeln fähig sind. Stossen Molekeln mit genügend grossen Geschwindigkeiten aufeinander, so entstehen jene Schwingungen in solcher Stärke, dass Lichtwahrnehmungen gemacht werden können. Ein genügend erhitztes Gas wird also Licht aussenden, ein aus scharfen Spektrallinien und aus Banden zusammengesetztes Licht, von um so grösserer Helligkeit, je heftiger und zahlreicher die Zusammenstösse der Molekeln und der Atome sind; der Banden sind um so mehr, je verwickelter der Bau und die Gestalt der Molekeln ist; die Banden sind um so lichtstärker, je dichter das Gas ist, welches Licht aussendet, je häufiger Zusammenstösse in ihm erfolgen; sie sind um so breiter, je mehr die Periodenzahlen zweier gleichartiger Eigenschwingungen, welche in einem und demselben wägbaren Atome oder in seiner Aetherhülle vorkommen, voneinander verschieden sind.

Eine sehr hohe Temperatur der ganzen Substanz und ganz besonders Glühtemperatur derselben ist indessen nicht notwendiges Erfordernis für das Zustandekommen einer Lichtemission. Eine solche wird vielmehr eingeleitet, wenn nur in irgend einer Weise Molekeln genügend schnell aufeinander stossen. Mit besonderer Heftigkeit geschieht letzteres ausser bei stark erhitzten Körpern bei den elektrischen Gasentladungen in Geisslerschen oder Hittorfschen Röhren, wo die mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladenen Molekeln sich anziehen und mit beschleunigten Geschwindigkeiten aufeinander platzen. Die Mitteltemperatur der Substanz, welche die Entladung besorgt, ist dabei nicht immer die Glühtemperatur. Sogar bei viel tieferen mittleren Temperaturen der Substanz kann noch Licht ausgestrahlt werden. Man denke an die Phosphoreszenz infolge langsamer Oxydation, an die Lichtfünkchen, welche beim Ansetzen kleiner Kriställchen während der Kristallisation beobachtet wurden.

Sind es flüssige oder feste Körper, welche Licht ausstrahlen, so treten die Eigenschwingungen der Aetherhüllen gegen die erzwungenen Schwingungen derselben mehr und mehr zurück. Die ganzen Molekeln und ihre Atome schwingen in erzwungenen,

fortwährend sich ändernden Bahnen hin und her. Bei jeder anderen Molekel sind die Verhältnisse wieder andere, so dass benachbarte Molekeln ganz verschiedene und rasch veränderliche Wellenbewegungen entstehen lassen. Wir erhalten dementsprechend ein kontinuierliches, von jenem Körper ausgesandtes Spektrum. Die Interferenzfähigkeit für grosse Gangunterschiede muss bei einem solchen Lichte eine viel geringere sein, als bei Licht, welches von glühenden Gasen oder gar von elektrischen Entladungen in gasverdünnten Räumen ausgestrahlt wird, hauptsächlich wenn die Molekeln einatomig sind.

Tritt eine Lichtwellenbewegung bestimmter Wellenlänge in eine Substanz ein, so kann sie von dieser mehr oder weniger absorbiert werden, besonders stark, wenn deren molekulare Aetherhüllen oder Teile derselben die jener Wellenlänge entsprechende Eigenschwingungsperiode haben. Es macht sich eine Resonanzwirkung geltend und die **Absorption** erreicht einen hohen Wert. Die in regelmässige Schwingungen geratenen Aetherhüllen müssen auf die Atome und diese können auf die ganzen Molekeln zurückwirken, wenn die betreffenden Schwingungszahlen und die Zeiträume zwischen den Zusammenstössen der Atome bezw. der Molekeln in bestimmter Weise harmonieren. Die absorbierte Lichtwellenbewegung geht also zum Teil in Atomschwingungen über, und diese wird zum Teil in Molekularbewegung verwandelt. Jede Molekel, welche Lichtwellenbewegungen absorbiert hat, sendet solche in stärkerem oder geringerem Maasse wieder aus: sie kann Licht von gleicher, von kleinerer oder auch von grösserer Wellenlänge aussenden, als sie absorbiert hat. Solche Vorgänge spielen sich ab bei der **Phosphoreszenz** und bei der **Fluoreszenz.**

Die **Undurchsichtigkeit** hat verschiedene Ursachen: Entweder wird das Licht so stark von einer Substanz absorbiert, in Atomschwingungen und schliesslich in Molekularbewegung, in Wärme, umgewandelt, dass nichts durch sie hindurchgeht und auch nichts reflektiert wird; oder es kann das Licht nicht in die Substanz eindringen, weil deren molekulare Aetherhüllen — etwa wegen eines zu stark ausgeprägten Systems von Eigenschwingungen — die betreffenden Lichtschwingungen gar nicht auszuführen im stande sind, so dass das Licht reflektiert werden muss; oder endlich es sind diese beiden Eigenschaften teilweise bei einer und derselben Substanz gleichzeitig vorhanden. Durch-

sichtigkeit setzt dagegen voraus, dass die molekularen Aetherhüllen durch die ganze Substanz hindurch aller derjenigen Schwingungen fähig seien, das heisst, dass sie wenigstens zu denjenigen Schwingungen gezwungen werden können, für deren zugehörige Wellenbewegungen die Substanz durchlässig und also durchsichtig ist. Rein physikalische Aenderungen eines und desselben Elementes vermögen zu ganz verschiedener Durchsichtigkeit Veranlassung zu geben. Amorphe Kohle und Graphit sind schon in dünnen Schichten undurchsichtig, Diamant ist durchsichtig. Durchsichtiges Glas wird in der Glühtemperatur undurchsichtig. Körper, welche für gewöhnliches Licht undurchsichtig sind, können für ultrarotes oder für ultraviolettes Licht durchsichtig sein, und umgekehrt.

Die von zusammenstossenden Molekeln hervorgerufenen Lichtschwingungen sind niemals geradlinig polarisierte Schwingungen. Schon in jeder Atomhülle bewegen sich alle Aetheratome, auch wenn sie übrigens in gleicher Periode schwingen, nach verschiedenen Richtungen. Nun sind aber immer viele Molekeln und viele Atome gleichzeitig Licht aussendend und sie haben gleichzeitig ganz verschiedene Bewegungsrichtungen. Daher kann durch die Schwingungen sämtlicher Aetherhüllen nur eine Lichtwellenbewegung in den Raum hinaus gesandt werden, welche Transversalwellen und Longitudinalwellen besitzt. Im Aether von gasförmigem Aggregatzustand pflanzen sich diese beiden verschiedenartigen Wellenbewegungen mit gleicher Geschwindigkeit fort.

Als einen Haupteinwand, welcher gegen dieses von uns entwickelte mechanische System erhoben werden könnte, erachten wir den folgenden: „Licht sei eine reine Transversalwellenbewegung, longitudinales Licht gebe es nicht“, und dieser Einwand würde, wenn er berechtigt wäre, unser System stürzen. Allein, ist der Beweis erbracht, dass es keine longitudinalen Lichtwellen giebt, wenn wir sie nicht haben finden können? Wir beobachten das Licht stets durch Vermittelung von festen oder flüssigen Körpern. Wenn nun in diesen Körpern der Aether eine so starke Inkompressibilität besitzt, dass der Theorie entsprechend in denselben die Longitudinalwellen kaum mehr sich zu entwickeln, kaum mehr sich fortzupflanzen vermögen? Dann werden die Longitudinalwellen, welche im gasförmigen Aether

noch vorhanden sind, beim Eintritte in die festen oder flüssigen Körper schon in geringen Tiefen zu Transversalwellen [1]). Im übrigen muss bemerkt werden, dass alle beschriebenen Schwingungsarten der molekularen Aetherhüllen in ihrer Gesamtheit für jede einzelne Fortpflanzungsrichtung doppelt so viele transversale Wellenbewegungen aussenden, als longitudinale, weil von drei gleichberechtigten, zu einander senkrechten Komponenten der Aetherschwingungen immer nur eine in die Fortpflanzungsrichtung fallen kann, die beiden anderen auf ihr senkrecht stehen müssen [2]).

Im gasförmigen Aether besitzen Wellenbewegungen aller möglichen Wellenlängen stets gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Anders verhält es sich, wenn wägbare Materie in dem Aether vorhanden ist. Die Lichtwellenbewegungen pflanzen sich durch feste und flüssige Körper und durch die Molekeln der Gase nur fort, wenn die betreffenden molekularen Aetherhüllen die ihnen mitgeteilten Schwingungsbewegungen als erzwungene Schwingungen wirklich ausführen können. Hat nun kurzwelliges und langwelliges Licht in verschiedenem Grade die Fähigkeit, diese Aetherhüllen in Mitschwingungen zu versetzen, beispielsweise vermöge der auftretenden Absorptionen, so werden sich Lichtwellen verschiedener Wellenlängen mit verschiedenen Geschwindigkeiten in jenen Körpern fortpflanzen und wir beobachten die **Dispersion** des Lichtes, welche grösser oder kleiner ist, je nachdem in einem Körper die Brechungsexponenten, die

---

[1]) Aehnlich leitet ein ins Wasser fallender Stein darin eine Wellenbewegung ein, deren schwingende Teilchen an der Wasseroberfläche zwar meistens kreisförmige Bahnen, in grösseren Tiefen aber nur noch gerade, begrenzte Linien beschreiben, so dass die Schwingungen hier einer transversalen Wellenbewegung entsprechen.

[2]) Auch die Schallwellen sind verwickelter, als man gewöhnlich annimmt. Es sind longitudinale und transversale Schallwellenbewegungen möglich; in Gasen pflanzen sich beide mit der gleichen, in flüssigen und festen Körpern im allgemeinen mit ungleicher Geschwindigkeit fort, wenn diese überhaupt solcher longitudinaler Wellenbewegungen fähig sind. In Gasen, glaubte man bis jetzt, sei der Schall ausschliesslich eine longitudinale Wellenbewegung. Sind es nicht vielmehr unsere mangelhaften Beobachtungsmittel, sowie zahllose die Beobachtung störende Reflexionen, welche in uns den Gedanken erwecken konnten, Schallwellen seien reine Longitudinalwellen?

uns den Maassstab für die verschiedenen Fortpflanzungsgeschwindigkeiten verschiedener Farben geben, grössere oder geringere Abweichungen voneinander zeigen.

Sind die Molekeln eines Körpers durch Kristallisation in bestimmt orientierten Lagen festgehalten, so stehen in der Regel die Aetherschwingungen nach verschiedenen Richtungen unter dem Einflusse verschiedener elastischer Kräfte. Dementsprechend sind die betreffenden Fortpflanzungsgeschwindigkeiten verschieden und es tritt **Doppelbrechung** auf.

Stehen die Aetherhüllen der gleichartigen Molekeln einer Substanz unter solchen asymmetrischen Elastizitätsverhältnissen, dass eine nach einer bestimmten Richtung eingeleitete Schwingung eines Teils jener Aetherhülle einen anderen bestimmten Teil der letzteren zu Mitschwingungen veranlasst, nach einer ganz anderen Richtung, so nämlich, dass die Mittellinien jener beiden schwingenden Abteilungen im Raume sich kreuzen [1]), so muss bei der Substanz die sogenannte **natürliche Zirkularpolarisation** des Lichtes auftreten. Die Eigenschaft der Zirkularpolarisation müssen diese Molekeln besonders in regelmässigen Kristallen nach bestimmten Richtungen hin erkennen lassen; sie werden dieselbe in geringerem Grade (nur etwa ein Drittel jenes Maximalwertes, weil sie nicht mehr gleichmässig orientiert sind) auch noch im flüssigen Zustande, ferner in Lösungen und im gasförmigen Zustande bewahren, wenn nicht im einen oder anderen Aggregatzustande so wesentliche Aenderungen der Elastizitätsverhältnisse eintreten, dass die Bedingung jenes Mitschwingens nicht mehr in gleicher Weise erfüllt ist.

In verschiedenen Körpern sind die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Lichtwellen verschieden. Wenn aber die Energie der Lichtwellen in festen und flüssigen Körpern mit anderer Geschwindigkeit sich fortpflanzt als im freien Aether, so wird auch die elektrische Energie in analoger Weise andere Fortpflanzungsgeschwindigkeiten annehmen müssen. Wegen der umgekehrten Proportionalität der Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Aetherwellenbewegung mit dem betreffenden Brechungsexponenten n

---

[1]) Ein gerades Drahtstück, dessen beide Enden rechtwinklig aber nach verschiedenen Richtungen abgebogen werden, mag die Mittellinie der Molekel und diejenigen jener beiden schwingenden Abteilungen anschaulich machen.

und wegen der umgekehrten Proportionalität des Quadrates der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektrischen Energie mit der Dielektrizitätskonstanten K einer Substanz (S. 19) erhalten wir hier die früher abgeleitete **Maxwellsche Beziehung**: $K = n^2$ bestätigt.

Elektrizität.

Bei der Behandlung elektrischer Wirkungen müssen wir vor allen Dingen den früher erläuterten Unterschied des Wesens der Elektrizität gegen dasjenige des Lichtes im Auge behalten. Diejenige Bewegung der Aetheratome, welche wir als Elektrizität definierten, ist nicht eine regelmässige Schwingungsbewegung, sondern sie ist ein unregelmässiges Hin- und Herzucken jener Atome, wie es deren Zusammenstösse gerade mit sich bringen. Beim Lichte hatten wir es dagegen nur mit den mehr oder weniger regelmässigen Schwingungen des Aethers zu thun, welche stets zu Wellenbewegungen Veranlassung geben. — Die Grösse der Affinitätskräfte steht naturgemäss unter dem Einflusse dieser beiden Bewegungszustände!

Wie alle behandelten Vorgänge dadurch, dass wir ausser den Aetheratomen im Raume noch Molekeln mit ihren wägbaren Atomen annahmen, verwickelter wurden, so verlieren auch die elektrischen Wirkungen dadurch an Uebersichtlichkeit.

In Uebereinstimmung mit unseren früheren Definitionen ist ein Körper positiv elektrisch, wenn er in seinen molekularen Aetherhüllen so grosse kinetische Energie der unregelmässig zuckenden Aetheratome besitzt, dass die Aetheratome des freien Aetherraumes stets mit grösseren Geschwindigkeiten vom Körper zurückgestossen werden, als diejenigen sind, mit welchen sie an demselben ankommen. Die wirklichen augenblicklichen Geschwindigkeiten der Aetherhüllenatome brauchen dabei nicht grösser, unter Umständen sogar nicht einmal ebensogross zu sein wie die mittleren Geschwindigkeiten der freien Aetheratome. Denn die Atome der Aetherhüllen sind aneinander, an die wägbaren Atome, an die Molekeln gefesselt; sie würden in ihrer Gesamtheit den freien Aetheratomen gegenüber annähernd wie eine starre Wand wirken, von welcher elastische Körper mit ihren eigenen Geschwindigkeiten wieder zurückprallen, auch wenn sie selber ganz bewegungslos wären. Wie die Gase bei ihrer

Berührung mit flüssigen oder festen Körpern, so wird sich aber der freie Aether den an die Molekel (sei dieselbe ein- oder mehratomig) gefesselten Aetherhüllen gegenüber verhalten: Starre Wände giebt es in der Natur nicht. Die Atome der Aetherhülle erhalten vielmehr in fortwährendem Austausch der Energien durchschnittlich gewisse mittlere Geschwindigkeiten, welche zwar kleiner sind als die mittleren Geschwindigkeiten der freien Aetheratome, welche aber doch die Aetherhülle befähigen, im Mittel die kinetische Energie, die ihr von den freien Aetheratomen zugeführt wird, an diese wieder zurückzugeben. Giebt die Aetherhülle mehr Energie nach aussen ab, als sie empfängt, so ist die betreffende Molekel positiv elektrisch; giebt jene weniger ab, als die Aufnahme beträgt, so ist die Molekel negativ elektrisch; und bleibt ihr Bewegungszustand infolge jenes Energieaustausches unverändert, so ist dieselbe unelektrisch gegen den umgebenden Aether.

Die Aetherhülle eines wägbaren Atoms verhält sich bezüglich ihres elektrischen Zustandes zu dem umgebenden freien Aether ähnlich wie ein flüssiger oder fester Körper bezüglich seines Wärmezustandes zu dem umgebenden Gase. Die Kapazität einer Aetherhülle für die elektrische Energie ist dementsprechend viel grösser als diejenige eines gleichen Volumens des freien Aethers. Daraus und aus dem Umstande, dass die wirklichen in den Aetherhüllen vorkommenden mittleren Aetheratomgeschwindigkeiten kleiner sind als diejenigen der freien Aetheratome, erklärt sich der grosse Vorrat an elektrischer Energie, welcher in wägbaren Atomen, in Molekeln und in festen Körpern angehäuft werden kann.

Soll eine Molekel mit dem umgebenden freien Aether im elektrischen Gleichgewichte sein, so muss in ihrer Aetherhülle ein ganz bestimmter Bewegungszustand vorhanden sein, in dem Sinne, dass die mittleren Geschwindigkeiten ihrer Aetheratome gewisse Werte besitzen. Diese Aetheratome stehen aber in Wechselwirkungen mit den wägbaren Atomen, mit der Molekel, welche sie einhüllen; Masse, Form, mittlere Geschwindigkeit, Elastizitätsverhältnisse eines wägbaren Atoms bezw. einer Molekel bedingen hauptsächlich diejenigen Werte der mittleren Geschwindigkeiten ihrer Aetherhüllenatome, welche für elektrisches Gleichgewicht mit dem Aussenraume die richtige Grösse besitzen. Jede

Molekel einer anderen Substanz wird also in ihrem elektrisch neutralen Zustande andere mittlere Geschwindigkeiten ihrer Aetherhüllenatome besitzen, und kommen zwei solche verschiedenartige Molekeln vorübergehend zur Berührung, so gleichen die sich berührenden Aetherhüllen teilweise ihre mittleren Atomgeschwindigkeiten aus; es geht folglich elektrische Energie von einer Molekel auf die andere über, und nach dem Auseinandergehen derselben ist die eine gegen ihre Umgebung negativ, die andere Molekel um denselben Betrag positiv elektrisch. Es bildet sich eine Kontaktpotentialdifferenz, und diese ist unabhängig von der Grösse der sich berührenden Flächen. Den betreffenden Vorgang nennen wir **Elektrizitätserregung durch Berührung.** Reibung wird als künstlich vermehrte und verstärkte Berührung aufgefasst und liefert uns die ausgiebigere **Reibungselektrizität,** wenn die Isolationsverhältnisse die richtigen sind.

Weil die Kontaktpotentialdifferenz von den Geschwindigkeiten der bewegten Molekeln und ihrer schwingenden Atome abhängt, auch wegen der entsprechenden Aenderung ihrer Zusammenstösse, ist sie eine Funktion der Temperatur. Daraus erklären sich die **Thermoströme.**

Aehnliche Vorgänge spielen sich ab bei der Dissociation der Molekeln, bei der Auflösung derselben in ihre Bestandteile, in die wägbaren Atome oder Atomgruppen. In einer Molekel ist der Schwingungszustand ihrer Aetherhülle, welche im elektrischen Gleichgewichte mit dem umgebenden freien Aether steht, abhängig von Masse, Form, mittleren Geschwindigkeiten und Elastizitätsverhältnissen der Gesamtheit der wägbaren Atome der Molekel. In einzelnen auseinander gelösten Bestandteilen der Molekel sind folglich jene Schwingungszustände für elektrisches Gleichgewicht wieder andere, weil nunmehr für jeden einzelnen Bestandteil Masse, Form, mittlere Geschwindigkeit und Elastizitätsverhältnisse der Gesamtheit seiner wägbaren Atome sich geändert haben. Wird somit eine Molekel aus irgend einer äusseren Ursache dissociiert, so teilt sie sich in zwei ungleich elektrische Bestandteile, von denen der eine positiv, der andere negativ elektrisch gegen den umgebenden Aether sein muss. Solche elektrisch geladene Bestandteile der Molekeln nennt man **Ionen.**

Bei jeder chemischen Reaktion werden in dieser Weise elektrische Energien durch Atome oder Atomgruppen von einer

Art auf eine andere Art von Molekeln übertragen. Wird zum Beispiel ein Metall von einer Säure angegriffen, zum Teil in Metallsalz umgewandelt, so werden elektrische Energien ausgewechselt, und leitet man diese Energien fortwährend ab, etwa durch Kombination zweier mittels eines Leitungsdrahtes verbundener Metalle mit einer oder mit zwei passenden Flüssigkeiten, so erhält man den fortdauernden elektrischen Strom des **galvanischen Elements.**

Der freie Aether ist ein schlechter Leiter für statische Elektrizität, wenn sich zwischen den Aetheratomen Druckgleichheit herstellen kann, weil in diesem Falle der elektrische Energietransport sehr erschwert wird. Für dynamische Elektrizität ist der Aether umgekehrt ein guter Leiter, wenn die in denselben übergeströmte elektrische Energie durch in der Nähe befindliche gute Leiter schnell genug abgeleitet wird. Aehnlich verhalten sich die Gase[1]) (und Dämpfe), und doch anders, weil ihre Molekeln sich *laden* können mit den Elektrizitäten derjenigen elektrisierten Körper, von welchen sie wegfliegen, so dass entgegengesetzt sich bewegende Gasmolekeln entgegengesetzte Ladungen besitzen, sich *anziehen* und ihre Elektrizitäten austauschen. Infolge solcher Anziehung ungleichartig elektrisierter Molekeln entstehen heftige Zusammenstösse derselben, welche das Licht der **Gasentladungen** ohne entsprechend starke Temperaturerhöhung hervorbringen. Je grösser die Molekeln, je grösser ihre molekularen Aetherhüllen sind, um so mehr elektrische Energie vermögen sie aufzunehmen und überzuführen. Molekelaggregate, Staubteilchen, ganze Körperchen übertragen, mit ihrer Grösse zunehmend, immer grössere Mengen elektrischer Energie.

Konvektionsströme in Gasen, in Flüssigkeiten beeinflussen die Leitungsfähigkeit, das Entladungspotential. Durch im elektrischen Felde fortwährend bewegte (etwa rotierende) Körper können Konvektionsströme künstlich hervorgerufen werden; sie müssen einen vermehrten Elektrizitätsausgleich zur Folge haben.

Flüssigkeiten und feste Körper teilen wir bezüglich ihrer Leitungsfähigkeit für elektrische Energie ein in **Leiter** und **Nichtleiter.** In Leitern sucht sich jede Potentialdifferenz verschiedener

---

[1]) Die Wärmeleitung der Gase kann unter analogen Gesichtspunkten betrachtet werden.

Teile derselben so rasch als möglich auszugleichen, das heisst, die Aetherhüllen benachbarter Molekeln nehmen möglichst gleiche Geschwindigkeitszustände an, gleichen ihre elektrischen Energien aus und leiten somit die an sie übertragenen elektrischen Energien in der Richtung des abnehmenden Potentials fort, wenn keine entgegenwirkenden Kräfte sie daran verhindern. Ein Teil der von den Aetherhüllen übertragenen Energie geht in Molekularbewegung über, geht als elektrische Energie verloren, äussert sich als **Joulesche Wärme**. Zu den Leitern gehören vorzugsweise die Metalle, welche ein dichteres Gefüge der Molekeln besitzen und deren Aetherhüllen sich in grösseren Flächen berühren werden.

Wenn auch die Lichtgeschwindigkeit nach Kundts Beobachtungen in einigen Metallen grösser als im freien Aether ist, so kann doch elektrische Energie in allen Metalldrähten höchstens mit ihrer dem freien Aether zukommenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit sich fortbewegen, weil stets und überall die im Drahte angehäufte elektrische Energie aus demselben in den umgebenden Aether strömt, so lange, bis das „Feld" hergestellt ist.

Die Nichtleiter zeigen in gewissem Sinne ein dem Aether analoges Verhalten. Sie leiten dynamische Elektrizität sehr gut; elektrische Zustandsänderungen pflanzen sich in ihnen mit Lichtgeschwindigkeit fort, wie die Hertzschen Versuche beweisen; Induktionswirkungen gehen durch sie hindurch. Für statische Elektrizität tritt aber bald ein Beharrungszustand ein, in welchem die Leitung auf sehr geringe Werte herabsinkt. Die Ursache dieser geringen Leitung ist in Nichtleitern und im Aether doch etwas verschieden. Benachbarte Molekeln des Nichtleiters können nämlich andauernd verschiedenes Potential, sie können verschiedene Geschwindigkeitszustände ihrer Aetherhüllen besitzen, was wohl am einfachsten so zu deuten ist, dass die am heftigsten zuckenden, zitternden Aetherhüllen einen Teil ihres Aethers verlieren, an benachbarte schwächer zuckende Aetherhüllen abgeben. Es stösst dann die grössere Masse einer Aetherhülle, deren Atome geringere mittlere Geschwindigkeiten besitzen, jeweilen auf die kleinere Masse einer benachbarten Aetherhülle, deren Atomen grössere mittlere Geschwindigkeiten zukommen. Sobald die Energien, welche in diesen Bewegungszuständen der beiden be-

nachbarten Aetherhüllen liegen, einander gleich geworden sind, findet kein belangreicher Transport elektrischer Energie mehr statt, wenn auch die Potentialdifferenz erhalten bleibt.

In festen Körpern, zum Teil auch in schlecht leitenden Flüssigkeiten grosser Viskosität, sind die erläuterten Zustände, welche eine innere Spannung mit sich bringen, denkbar, weil die Molekeln gar nicht oder nur in beschränktem Maasse und langsam gegeneinander sich verschieben lassen, vermöge der wirkenden Kohäsionskräfte. In der reibungslosen Flüssigkeit ist dagegen eine Verminderung der Leitungsfähigkeit in solchem Sinne nur dann wahrscheinlich, wenn die Flüssigkeit an sich rein, also vollkommen homogen ist, nur einerlei Molekeln enthält, und wenn die Stromzuführung eine derartige ist, dass Konvektionsströme nicht zu stande kommen. In der That ist die Leitungsfähigkeit von reinem Wasser eine sehr geringe, wenn man dieselbe nach F. Kohlrausch mit Wechselströmen grosser Periodenzahl bestimmt. Ein solcher mit Potentialdifferenzen verbundener Zustand, bei welchem in der reibungslosen Flüssigkeit doch keine Konvektionsströme auftreten können, muss stets ein labiler sein. Bringt man also zwei in einer reibungslosen Flüssigkeit befindliche Elektroden andauernd auf eine passende Potentialdifferenz, so werden Konvektionsströme entstehen und die Leitungsfähigkeit scheinbar vergrössern.

Schickt man fortdauernd einen elektrischen Strom gleicher Richtung durch gewisse Flüssigkeiten hindurch, so kommt ein anderer Vorgang zu stande, die **elektrolytische Leitung** der betreffenden Flüssigkeit. Infolge der Stromübertragung werden in diesen Flüssigkeiten die Molekeln in heftig zuckende Bewegungen versetzt, ihre Atome schwingen sehr stark. Nach Maassgabe der übertragenen elektrischen Energie spalten sich Molekeln in ihre Ionen, und diese werden, weil sie gegen das betreffende Feld grössere elektrische Potentialdifferenzen besitzen als die Molekeln selber (S. 70), mit vermehrter Kraft in der Richtung von der einen Elektrode gegen die andere hin getrieben, je nach der Art ihrer Ladung. Die Ionen übertragen deshalb bei der elektrolytischen Leitung grössere Energiemengen als die Molekeln. Sie bewegen sich in der Regel um so rascher, je kleinere Querschnitte und je geringere Masse sie bei gleicher Ladung besitzen, zwischen grösseren ungespalten gebliebenen Molekeln

hindurch. Gleichartige Ionen laden sich gleichnamig elektrisch und stossen sich ab; haben aber solche Ionen ihre elektrischen Energien an die Elektroden abgegeben, so können sie wieder zu neuen Molekeln sich vereinigen. Ungleichartige und also ungleichnamig elektrisierte Ionen ziehen sich dagegen an, im ganzen Flüssigkeitsinneren, vereinigen sich zu neuen Molekeln, bei Flüssigkeitsgemischen unter Umständen in anderen Zusammensetzungen, spalten sich von neuem, vereinigen sich wieder zu anderen Molekeln und so fort. Wirkliche chemische Zersetzungen im Inneren der elektrolytisch leitenden Flüssigkeiten sind deshalb nur in besonderen Fällen nachweisbar. An den Elektroden treten dagegen (primäre und sekundäre) Zersetzungsprodukte auf und geben zu den **Polarisationserscheinungen** Veranlassung.

Wird einem Leiter **statische Elektrizität** mitgeteilt, so häuft sich dieselbe auf dessen Oberfläche an. Im Inneren des Leiters sind keine elektrischen Kräfte nachweisbar, wenn keine elektrischen Energien durch ihn fortgeführt werden. Die Vorgänge sind indessen keine einfachen. Setzt man in den Leitern eine verhältnismässig geringe Kompressibilität des Aethers voraus, so wird die elektrische Energie als kinetische Energie die Oberfläche derselben bevorzugen. Die molekularen Aetherhüllen der Leiteroberfläche sind dann in heftigen Erschütterungen begriffen, welche wir nicht Wellen nennen dürfen, welche wir aber mit Wasserwellen vergleichen können, die gleichfalls nur wenig in die Tiefe eindringen. Nehmen diese Erschütterungen der Aetherhüllen in die Tiefe des Leiters rasch an Intensität ab, so erhalten wir im Leiterinneren ein gleichförmiges Feld, in welchem keine elektrischen Kraftwirkungen mehr auftreten können. Somit wird nach unserer Definition das absolute Potential im Inneren des geladenen Leiters einen anderen Wert haben als auf der Leiteroberfläche. Die gebräuchliche Bezeichnung „elektrostatisches Potential" lässt sich hier nicht in einfacher Weise durch unser „absolutes Potential" definieren.

Wir denken uns einen Leiter in der Nähe eines elektrisierten Körpers, beispielsweise eines positiv elektrischen Nichtleiters, also im elektrischen Felde dieses Körpers. Die molekularen Aetherhüllen in der Oberfläche des Leiters werden vermöge seiner Leitungsfähigkeit nicht an jeder Stelle das Potential des Aethers ihrer äusseren Umgebung annehmen, sondern auf einem nahezu

konstanten mittleren, der ganzen Leiteroberfläche zukommenden Potentiale bleiben. Folglich haben die dem Nichtleiter zugewandten Oberflächenteile des Leiters molekulare Aetherhüllen, welche gegen den Aether ihrer äusseren Umgebung negativ elektrisch sind, welche freie negative Elektrizität aufweisen; und umgekehrt verhalten sich seine abgewandten Oberflächenteile. Der Leiter ist durch **Influenz** elektrisiert. Die entsprechenden Differenzen zwischen den mittleren Aetheratomgeschwindigkeiten seiner molekularen Aetherhüllen und denjenigen des Aethers ihrer äusseren Umgebung bleiben bestehen, wenn der Leiter in seine beiden ungleich influenzierten Hälften geteilt und wenn hernach jener elektrisierte Körper wieder entfernt wird. Denn die Feldänderungen sind dynamischer Natur und pflanzen sich fort durch alle Körper hindurch, seien dieselben Leiter oder Nichtleiter, elektrisiert oder nicht elektrisiert.

Röntgenstrahlen.

In Crookesschen oder Hittorfschen Röhren erhitzen die Kathodenstrahlen — gebildet durch in den elektrischen Kraftlinien hin- und herzuckende elektrisch geladene (Metall-)Dampfmolekeln — wegen der bei solchen Entladungen auftretenden grossen Potentialdifferenzen den Körper, auf welchen sie treffen, stark und plötzlich. Der erhitzte Körper dehnt sich aus. Die getroffenen Molekeln des Körpers zucken schneller hin und her und erhalten grössere mittlere Abstände voneinander als zuvor. Sie verlieren infolgedessen einen Teil des vorher an sie gebundenen Aethers, von ihren Aetherhüllen verdampft ein entsprechender Betrag. Sie vergrössern scheinbar ihr Volumen gegen den freien Aether hin. Der von ihnen ausgegebene Aether breitet sich von den plötzlich erhitzten Stellen nach allen Richtungen aus, drückt auf den umgebenden Aether, stösst diesen fort und erzeugt dadurch die erste Hälfte einer Stosswelle, deren Intensität mit dem Quadrate der Entfernung von der Ausgangsstelle abnimmt. Ist die betreffende Entladung beendigt, so strömt Aether wieder zurück, um so schneller, je schneller durch gute Wärmeleitung die erhitzte Stelle des Körpers abgekühlt wird; die zweite Hälfte der Aetherstosswelle breitet sich mit entsprechender Intensität aus.

Diese Aetherstosswellen oder Aetherstrahlen nennen wir Röntgenstrahlen.

Alle Körper werden mehr oder weniger leicht von Aetherstosswellen durchsetzt, weil sie alle für den Aether selber sehr durchlässig sind. Jede molekulare Aetherhülle, welche von einer Aetherstosswelle getroffen wird, nimmt zuerst etwas Aether auf, giebt nachher wieder Aether ab. Nehmen infolge solcher stossweisen Einwirkungen die molekularen Aetherhüllen selbständige Schwingungen an, so strahlen sie Licht aus, sie fluoreszieren. Wird die Affinität der getroffenen Atome durch diese Stösse genügend geändert, so können chemische Wirkungen eintreten, welche zu photographischen Bildern zu benutzen sind.

Viele aufeinander folgende Aetherstosswellen setzen sich zu einer longitudinalen Aetherwellenbewegung zusammen, deren Hauptperiode der Periode der benutzten Wechselströme oder derjenigen der Unterbrechungen des Gleichstromes entspricht. Ausserdem sind in jeder Entladung kürzere Perioden möglich, wenn nämlich die einzelnen Entladungen selber intermittierende sind, oder wenn sie durch passende Einschaltung schneller elektrischer Schwingungen zu solchen gemacht werden.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Aetherstosswellen ist etwa derjenigen des Lichtes gleich, jedoch nur annähernd, wegen der Aenderung des Aetherbestandes der getroffenen molekularen Aetherhüllen. Die zu der Hauptperiode gehörenden Wellenlängen sind demnach unter allen Umständen ausserordentlich gross. Durch jene oben erwähnte Einschaltung schneller, beispielsweise Hertzscher elektrischer Schwingungen können wir aber auch in den Röntgenstrahlen kleinere Wellenlängen erzielen.

Magnetismus.

Die meisten experimentellen Beobachtungen führen zu der Vermutung, dass der Magnetismus an sich durch verwickeltere mechanische Vorgänge zu stande komme, als die Elektrizität. Es giebt keine magnetisierbaren Substanzen, welche den Magnetismus als solchen in Drähten fast beliebig weit fortzuleiten vermöchten, wie ähnliches bei der Elektrizität der Fall ist. Es giebt keine nur positiv oder nur negativ magnetischen Körper. Der Magnetismus scheint streng an die wägbare Materie gebunden

zu sein. Und in der That zeigt die Theorie, dass alle magnetischen Fernewirkungen sich als elektrische Fernewirkungen berechnen lassen, dass man stets einen Magnet durch ein ihm in bestimmter Weise entsprechendes Solenoid ersetzen kann, wenigstens in seinen Wirkungen nach aussen. Fassen wir also den Magnetismus als eine an die wägbare Materie gebundene Erscheinung, seine Fernewirkung als elektrische Fernewirkung auf, so muss das von einem Magnet erzeugte magnetische Feld in jeder Beziehung gleich dem von einem Solenoid erzeugten elektrischen Felde sein; denn alle jene Fernewirkungen hängen ja nur von der Beschaffenheit des Feldes ab.

Früheren Entwickelungen zufolge (S. 20) ruft ein stromführender Draht ein elektrisches Feld in der Art hervor, dass der freie Aether seiner Umgebung gleichfalls elektrische Energie fortleitet im Sinne des Potentialgefälles im Drahte. Bei einem Solenoide sind viele parallele Drähte, viele Drahtwindungen gleichzeitig wirksam, um ein solches Feld zu erzeugen: das Feld wird in entsprechender Weise verstärkt. Der Magnetismus lässt sich also unserem mechanischen Systeme einfügen, wenn es zu zeigen gelingt, dass ein Magnet von einem Felde umgeben ist, in welchem elektrische Energie um ihn, um seine magnetische Achse rotiert.

Fig. 6.

Zu diesem Zwecke müssen wir auf die Gestalt der wägbaren Atome, der Molekeln zurückgreifen. Wir betrachten beispielsweise das Metall, welches die stärkste Magnetisierbarkeit aufweist, das Eisen, und denken uns eine Eisenmolekel als Stäbchen von bestimmtem Querschnitt. Dieselbe sei etwa gebildet durch passende Aneinanderlagerung mehrerer Stäbchen von parallelogrammatischem Querschnitte, wie sie die Fig. 6 *a* klar

machen mag. Zu dieser mehrfach zusammengesetzten Molekel gehört noch ihre entsprechende Aetherhülle. Befindet sich eine solche Molekel im freien Aetherraume, in welchem sie von allen Seiten unaufhörlichen Stössen der ungeheuer schnell heranfliegenden Aetheratome ausgesetzt ist, so wird ihrer Aetherhülle das Bestreben eingegeben, eine Rotation in der Pfeilrichtung anzunehmen. Denn alle nicht senkrecht, sondern schief auf die Aetherhülle aufschlagenden freien Aetheratome bringen tangentiale Kraftkomponenten hervor, welche der Aetherhülle eine entsprechende Rotation beizubringen suchen, und der Rotation in der Pfeilrichtung wird von der Molekel durch die vorspringenden Kanten der Stäbchen offenbar ein geringerer Widerstand entgegengesetzt, als derjenigen in umgekehrter Richtung. Demnach erfolgt im Aetherraume eine fortdauernde Rotation der Aetherhülle einer Eisenmolekel — oder doch eines Teiles derselben — in bestimmtem Sinne um die Stäbchen herum, wenn die Anlagerung der Aetherhülle an jene Stäbchen eine solche Beweglichkeit überhaupt zulässt, was wir voraussetzen wollen. Die Rotation der Aetherhüllen giebt Veranlassung zur Vermehrung entsprechender tangentialer Geschwindigkeitskomponenten der auf jene stossenden freien Aetheratome. Im umgebenden Aetherraume entsteht also ein fortwährender bestimmter Energiefluss um die Molekel herum. Es wird ein Ampèrescher elektrischer **Elementarstrom** gebildet, welcher uns die magnetische Molekel, den Elementarmagnet ersetzt. Analoge Wirkungen würden sich mit vielen anderen schon ganz einfachen Molekelgestalten ergeben, wenn nur ihrem Querschnitt jede Symmetrieachse fehlt. Einige solche Querschnitte sind in Fig. 6 *b* bis *h* angedeutet.

Wegen des unsymmetrischen Molekelquerschnitts sind übrigens die Elastizitätsverhältnisse der Aetherhüllen derart verschiedene, dass ihre Oberflächenatome nach Richtungen am leichtesten in Schwingungen zu versetzen sind, welche nicht immer auf der Aetherhüllenoberfläche senkrecht stehen. Dadurch werden auch tangentiale Geschwindigkeitskomponenten an die freien Aetheratome der Umgebung übertragen, ähnlich wie durch die oben erläuterten Rotationsvorgänge.

Ein Eisenkörper besteht nach W. Weber aus regellos durcheinander liegenden magnetischen Molekeln oder Elementarströmen. Die Zusammenstösse dieser Molekeln gegeneinander erhalten jene

von uns beschriebenen Rotationen auch im Inneren des Körpers in der von der Lage der Molekel abhängigen Richtung mehr oder weniger aufrecht. Durch einen um den Eisenkörper herumfliessenden elektrischen Strom werden aber die Elementarmagnete „gerichtet“, nach Maassgabe der elektrodynamischen Wirkungen, welche elektrische Ströme aufeinander ausüben (S. 21). Im harten Stahle verharren die magnetischen Molekeln nach diesem Richten zu einem grossen Teile in der neuen Lage, auch nach dem Verschwinden jenes elektrischen Stromes; es bleibt der **permanente Magnetismus** zurück. Im weichen Eisen dagegen suchen die magnetischen Molekeln, sobald der richtende Strom aufhört, fast durchweg ihre frühere Lage wieder auf; sein Magnetismus ist grösstenteils ein **temporärer**.

Leiten wir einen Strom durch ein Solenoid, in welchem ein Eisenkern steckt, so richten sich des letzteren Elementarmagnete derart, dass das elektrodynamische Feld des entstehenden Magnets mit demjenigen des magnetisierenden Stromes gleichgerichtet wird: die beiden Wirkungen addieren sich im Elektromagnet. Ist ein Magnet bezüglich seiner Wirkung nach aussen gleichbedeutend mit einem elektrischen Strome, so sind damit die Erscheinungen der **Magnetinduktion** auf diejenigen der Elektroinduktion zurückgeführt.

Stark magnetische Körper in schwach magnetische eingebettet verhalten sich paramagnetisch wie Eisen. Untersuchen wir umgekehrt schwach magnetische in stark magnetische Körper eingebettet, so beobachten wir die Erscheinungen des **Diamagnetismus**.

Allen magnetisierbaren Molekeln wird im magnetischen Felde ein Bestreben zu rotatorischer Bewegung in bestimmter Richtung eingegeben. Sind dieselben durch Nachbarmolekeln gebunden, so folgen nur ihre Aetherhüllen, sind sie frei beweglich, so folgen sie auch als Ganzes jenem Antriebe. Proportional dieser Drehung wird die Polarisationsebene eines durch solche Molekeln gesandten Lichtstrahls gedreht: wir erhalten die **magnetische Zirkularpolarisation** des Lichtes. Sogar die nicht magnetisierbaren Molekeln müssen in schwachem Maasse von jener Rotation beeinflusst werden und eine geringe magnetische Zirkularpolarisation besitzen.

Absolutes Maasssystem.

Wir haben früher die kinetische Energie berechnet, welche in der fortschreitenden Bewegung der gasförmigen Aetheratome enthalten ist. Sei ρ die Aetherdichte, G die mittlere fortschreitende Geschwindigkeit der Aetheratome, also: $\frac{1}{2} \rho G^2$ die kinetische Energie des Aethers in der Volumeneinheit. Da wir diesen Bewegungszustand des Aethers als Elektrizität, die kinetische Energie, welche in demselben liegt, als elektrische Energie definiert haben, so muss $\frac{1}{2} m G^2$ die in irgend einem Raume vorhandene gesamte elektrische Energie darstellen, wenn m die Gesamtmasse seines an der Bewegung teilnehmenden Aethers, G^2 das mittlere Geschwindigkeitsquadrat der Atome desselben bezeichnet.

Die elektrische Energie ist das Produkt einer Elektrizitätsmenge und eines Potentials. Das absolute Potential definierten wir in Analogie mit der absoluten Temperatur dadurch, dass wir dasselbe proportional dem Quadrate der mittleren fortschreitenden Geschwindigkeit der freien Aetheratome annahmen. Setzen wir nun dasselbe gleich G^2, so wird die absolute Elektrizitätsmenge gleich der Aethermasse m; das Produkt beider giebt uns die absolute elektrische Energie. Mit gleichem Rechte könnten wir dem Potentiale und der Elektrizitätsmenge im Zähler bezw. im Nenner einen und denselben Faktor von beliebiger Dimension hinzufügen, wenn dies vorteilhaft schiene. Wir ziehen indessen, solange nicht zwingende Gründe zu einer Aenderung vorliegen, jene einfachere Definition vor.

Enthält unser Raum nicht nur freien Aether, sondern auch wägbare Atome, Molekeln oder ganze Körper, so können diese mit dem freien Aether in elektrischem Gleichgewichte stehen; wir sagen, sie besitzen dasselbe Potential. Das absolute Potential kann aber für wägbare Atome, Molekeln oder Aggregate von solchen nicht durch die Geschwindigkeitsquadrate ihrer Aetherhüllenatome definiert werden, vielmehr nur durch die mittleren Geschwindigkeitsquadrate der freien Aetheratome, welche mit jenen elektrisches Gleichgewicht halten. Diese beiden Geschwindigkeitsquadrate werden sich um einen Proportionalitätsfaktor, wahrscheinlich auch um eine additive Konstante unterscheiden, ganz ähnlich, wie dies für die Temperatur bei verschiedenen

Aggregatzuständen der Fall sein wird, wo Molekularkräfte und latente Wärmen in Betracht kommen [1]).

Die **Dimensionen** werden in unserem Systeme entprechend einfacher, wenn wir dem Potentiale und der Elektrizitätsmenge keinen Faktor einverleiben, dessen Dimension zusammengesetzte oder gar gebrochene Exponenten aufweist. Besitzt der Faktor die Dimension Null, wie wir oben angenommen haben, so wird die Dimension der Elektrizitätsmenge diejenige einer Masse [M], die Dimension des Potentials $[L^2 T^{-2}]$, der Kapazität $[M L^{-2} T^2]$. Dabei denken wir uns für die Elektrostatik die in der Raumeinheit enthaltene kinetische Energie des freien Aethers als Einheit der elektrischen Energie.

Wollen wir für die Elektrodynamik besondere Einheiten ableiten, so wird unser Ausgangspunkt doch die elektrische Energie $\frac{1}{2} \rho G^2$ sein müssen. Wenn ρ die in der Volumeneinheit befindliche freie Aethermasse bezeichnet, so erhalten wir dieselbe Masse ρ, wenn wir uns Aether des freien Raumes mit der Geschwindigkeit Eins während einer Sekunde durch den Querschnitt Eins strömend denken. Die Strömungsgeschwindigkeit der elektrischen Energie im freien Aether ist nun nicht gleich der Einheit, sondern gleich der Lichtgeschwindigkeit, also $3 . 10^{10}$. Wir führen diese Geschwindigkeit für die Elektrodynamik ein und nennen $\frac{1}{2} m G^2$ diejenige elektrische Energie, welche während einer Sekunde durch den Querschnitt Eins strömen würde, wenn der freie Aether ohne Aenderung von G^2 und ρ mit Lichtgeschwindigkeit gleichmässig durch jenen Querschnitt hindurchflösse, mit anderen Worten: es sei $\frac{1}{2} m G^2$ diejenige elektrische Energie des freien Aethers, welche ein Prisma von einem Quadratcentimeter Grundfläche und $3 . 10^{10}$ Centimeter Höhe enthält, und diese elektrische Energie werde als Einheit zur Grundlage für die elektrodynamischen Einheiten genommen. Soll G^2, ohne weiteren Faktor, seine Bedeutung als Potential beibehalten, was uns zweckmässig erscheint, so müssen wir den Faktor $3 . 10^{10}$, welchen wir von einer Geschwindigkeit ableiteten, als reine Zahl (als Verhältniszahl jenes Prismeninhaltes zum Einheitsvolumen) in

[1]) In analoger Weise wie die elektrischen lassen sich die thermischen Grössen unmittelbar aus den mechanischen Vorgängen definieren und vermittelst der Wärmeenergie an das absolute mechanische Maasssystem anschliessen.

das Maasssystem einführen. Derselbe ist dann dimensionslos, das Potential bleibt ganz gleich, die Einheit der Elektrizitätsmenge wird $3 . 10^{10}$ grösser, als wir sie oben definierten; beide Grössen behalten aber die dort abgeleitete Dimension bei. Folglich wird die Dimension der Stromstärke $[M T^{-1}]$, des Widerstandes $[M^{-1} L^2 T^{-1}]$, und mit Benutzung des Biot-Savartschen Gesetzes die Dimension der Polstärke $[M L T^{-1}]$, des magnetischen Moments $[M L^2 T^{-1}]$, der Feldstärke $[T^{-1}]$ u. s. w.. Alle elektrischen und magnetischen Einheiten lassen sich in unserem absoluten Maasssystem ausdrücken und erhalten durchschnittlich viel einfachere Dimensionen, als in den gegenwärtig üblichen Maasssystemen. Als praktische Einheit der elektrischen Energie wird man aber auch in unserem Systeme nicht eine der hier des leichteren Verständnisses halber hervorgehobenen Einheiten, sondern diejenige wählen, welche der bereits festgesetzten Einheit der mechanischen Energie gleich ist: das Erg, oder ein passendes Vielfaches desselben.

Unser System kann gegen das Prinzip von der Erhaltung der Energie schon deshalb in keiner Weise verstossen, weil wir die elektrische Energie als mechanische Energie definiert haben. Bei Atomumlagerungen wird für jedes Atom eine bestimmte mechanische Energie, eine bestimmte Wärmeenergie, eine bestimmte elektrische Energie verwandelt. Mit jedem Ion wandert eine bestimmte elektrische Energie. Erfahrungsgemäss ist zur Lösung jeder Valenz jedes Ions eine und dieselbe Elektrizitätsmenge [1]) erforderlich, das heisst nichts anderes, als dass die zur Lösung einer Valenz bei verschiedenartigen Ionen notwendigen elektrischen Energien den dabei auftretenden Potentialdifferenzen proportional sind. Zu solchen Beziehungen führen die beiden elektrolytischen Gesetze Faradays.

Ein **Rückblick** auf unsere Entwickelungen lässt erkennen, dass die ganze Physik und Chemie in ihren Grundzügen aus den gewählten einfachsten Annahmen qualitativ erklärt werden kann. Ob auch die quantitativen Ergebnisse dieses Systems genügende sind, müssen spätere Untersuchungen lehren. Aus

[1]) Vgl. S. 80, die Elektrizitätsmenge als Aethermasse definiert.

unseren Betrachtungen geht ferner hervor, dass die beiden gegenwärtig noch in Fehde stehenden Theorien: die Huygenssche Undulationstheorie des Lichtes und die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus einander doch nicht so feindlich gegenüberstehen, wie es bis dahin den Anschein hatte, im Gegenteil: Lässt jede von den beiden Theorien einen Teil ihrer Voraussetzungen fallen, so werden sie miteinander verträglich. Unser mechanisches System zeigt, in welcher Weise eine solche Verträglichkeit möglich ist.

III. Die Weltkörper.

Wir haben die Materie in ihren kleinsten Teilchen untersucht, haben diese Teilchen, die Atome, zusammengebaut zu Molekeln, zu körperlichen Gebilden. Damit gewannen wir die Grundlagen für die Physik und für die Chemie. Es wird nun unsere Aufgabe sein, nach und nach alle experimentellen Ergebnisse dieser beiden Disziplinen auf ihre Verträglichkeit mit unserem Systeme zu prüfen, entweder eine ganz leichte Sache, wenn man dabei bald auf unlösbare Widersprüche stösst, oder ein Unternehmen von ungeheurer Tragweite, an dessen Bewältigung ein einzelner gar nie denken könnte, wenn unser System den wahren Naturvorgängen entspricht. Von dieser Prüfung vermögen wir hier nur einen kleinen Teil vorzunehmen, und zwar wollen wir dies in der Weise thun, dass wir die gewonnene Naturanschauung auf die Weltkörper, auf das ganze Weltall übertragen. Manche neuen Ausblicke, mannigfache Aufklärungen über bis dahin unbeantwortete Fragen aus den Gebieten der Astrophysik und der Meteorologie hoffen wir dadurch zu erlangen. Ausserdem ist aber eine Untersuchung der Vorgänge im Weltall auf Grund unserer bisherigen Entwickelungen notwendig, weil die Bedingungen, unter denen diese Vorgänge sich abspielen, Beiträge zu den Grundlagen unseres Systems liefern werden bezw. solche geliefert haben, welche wir ohne Betrachtungen über das Weltgebäude nicht hätten erhalten können.

Am einfachsten ist es, wenn wir mit dem Weltkörper beginnen, auf welchem wir uns befinden, weil wir dabei die Verhältnisse am leichtesten übersehen.

Die Erde.

In ihrem jetzigen Zustande ist die Erde annähernd eine glühend-flüssige Kugel, eingehüllt von einer fest gewordenen Kugelschale, der Erdrinde; in und auf dieser befinden sich diejenigen Flüssigkeiten, welche bei den hohen Temperaturen des glühenden Erdkerns verdampfen, Flüssigkeiten, welche aber doch den tiefer liegenden Stellen der Erdrinde fortwährend zustreben, insbesondere Wasser, welches Flüsse, Seen und Meere bildet; über ihr befindet sich ferner die Atmosphäre, bestehend aus verschiedenen Gasen und aus den Dämpfen der in und auf der Erdrinde vorhandenen Flüssigkeiten. Die Erde rotiert um eine eigene durch ihren Mittelpunkt gehende Achse; sie bewegt sich ausserdem durch den Aetherraum in Ellipsen von sehr geringer Exzentrizität um die Sonne. Der Weltäther ist gasförmig; die Aetheratome desselben mögen im ganzen Sonnensystem gleiche Mittelwerte ihrer fortschreitenden Geschwindigkeiten haben.

Wegen der grossen Masse der ganzen Erde spielt die Schwerkraft neben dem Aetherdrucke, welcher oft sogar ganz gegen jene Kraft zurücktritt, eine bedeutende Rolle; ausserdem macht sich ein merklicher Einfluss der Zentrifugalkraft geltend. Wir berücksichtigen aber hier zumeist nur die wirkungsvollsten von diesen Kräften. Die Gravitation, die Schwerkraft ist es insbesondere, welche die ganze Erde zu einer Kugel zusammenhält; die Schwerkraft fesselt die Atmosphäre, das heisst alle Gase und Dämpfe an die Erde; sie sorgt dafür, dass alle Flüssigkeiten nach den tiefsten Stellen fliessen, dass sie in die Erdrinde eindringen, dem Erdmittelpunkte so viel als möglich sich zu nähern suchen; sie bewirkt, dass auch feste Körper stets gegen den Erdmittelpunkt zu fallen bestrebt sind.

Das Erdinnere.

Die Schwerkraft hält nicht nur das flüssige Erdinnere zu einer Kugel zusammen, sondern sie zieht auch die feste Erdrinde

von allen Seiten gegen den Erdmittelpunkt hin. Um nun beurteilen zu können, ob Erdrinde und flüssiger Erdkern bemerkenswerte Druckkräfte aufeinander ausüben, müssen wir einige Berechnungen der Spannungen, welche in der festen Erdrinde, und der Drucke, welche in der flüssigen Erdkugel auftreten, vorausschicken.

Die ruhend gedachte Erdkugel sei vollkommen rund; ihre Dichte sei konstant und ungefähr $\delta = 5{,}6$. Wir stellen uns zuerst vor, der flüssige Erdkern schwebe im Inneren der festen Erdrinde wie in einer Hohlkugel, ohne dass irgendwo Berührung zwischen denselben einträte. Die Schwerkraft, welche die ganze Erdmasse gegen das Erdzentrum zieht, werde aber dadurch in ihren Wirkungen auf die Erdrinde gar nicht beeinflusst. Wir fragen uns: Ist die Erdrinde wirklich als fester starrer Körper zu betrachten, welcher der Schwerkraft genügenden Widerstand entgegensetzt, welcher in sich selbst stabil ist, wie ein starkes Gewölbe, das sich und die auf ihm lastende Masse trägt? Oder verhält sich die Erdrinde wie ein weicher Körper, welcher, gegen das Erdzentrum gezogen, auf den flüssigen Erdkern sich auflegt?

Wir denken uns die Erdrinde als feste Hohlkugel mit dem Erdradius R konstruiert, von verhältnismässig geringer Dicke, und wir suchen die Spannung, welche durch die Schwerkraft der Erde in dieser Rinde als Tangentialdruck hervorgerufen wird. Wir finden den grössten vorkommenden Druck, wenn wir die Hohlkugel durch einen zentralen Schnitt in zwei Hälften teilen und die Kräfte berechnen, welche diese Hälften (wie die Magdeburger Halbkugeln) gegeneinander pressen. Die Gesamtheit aller von einer Schichtdicke dr der Hohlkugel herrührenden Normaldrucke dieses Querschnitts ist:

$$\pi R^2 dr\, \delta \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \sin\varphi \cos\varphi\, d\varphi = \pi R^2 dr\, \delta$$

Kilogramm gewicht, wenn wir alle Linearmaasse in Decimetern einführen. Die Fläche, welche diesen Druck aufnehmen muss, ist: $2\pi R dr$; also wird der Druck in Kilogrammen für die gewählte Flächeneinheit: $R\delta/2 = 179$ Millionen Kilogramme für das Quadratdecimeter oder 1,79 Millionen Kilogramme für das Quadratcentimeter.

Der beste Stahl zerreisst bei einer Zugbelastung von etwa

10000 Kilogrammgewicht für das Quadratcentimeter; Drucke vermag er stärkere auszuhalten. Der oben berechnete Druck ist aber 179mal grösser als die Zerreissungsfestigkeit des Stahls, und solchen einseitig wirkenden Drucken widersteht kein Material, es wird vielmehr zermalmt. Jene Kugelschale würde demzufolge bei einer um so geringeren einseitig auf sie wirkenden Kraft, je geringer ihre eigene Dicke wäre, zum Beispiel infolge der Flutwirkung des Mondes, an den am stärksten beanspruchten Stellen völlig zerbrechen und dann ganz in sich zusammenfallen, wie ein ungenügend konstruiertes Gewölbe. Die Erdrinde ist somit nicht in sich selbst stabil; sie würde sich wahrscheinlich nicht einmal dann selber zu tragen vermögen, wenn sie vollkommen homogen wäre und wenn gar keine seitlichen Kräfte auf sie einwirkten.

Wenn wir dieselbe Rechnung für Kugelschalen von kleinerem Radius r ausführen, also für eine innen liegende Erdschichte, unter der Voraussetzung, dass die ausserhalb derselben befindliche Kugelschale sich selbst zu tragen vermag, ohne einen Druck auf die unter ihr liegenden Kugelschichten auszuüben, so werden die Tangentialkomponenten entsprechend kleiner; jener Formel $R\delta/2$ zufolge, welche wegen der Annäherung an das Erdzentrum den Faktor r^2/R^2 erhält und in $r^2\delta/2R$ übergeht, nehmen diese Komponenten mit dem Quadrate des Radius r ab. Der von der Tangentialkomponente herrührende Druck wird im Erdzentrum Null, das heisst, die innersten Schichten der Erdkugel würden allerdings in sich selbst stabil sein, wenn es die äusseren gleichfalls wären.

In Wirklichkeit haben wir andere Verhältnisse. Wenn die äussersten Kugelschalen, welche die Erdrinde bilden, nicht so weit starr sind, dass sie sich selber zu tragen vermögen, so legen sie sich auf die tieferen Schichten, üben auf dieselben einen Radialdruck aus. Je geringer die Starrheit jener Schalen ist, um so grösser wird der Radialdruck, um so geringer jener Tangentialdruck. Wäre die ganze Erdkugel flüssig, so hätten wir den mit der Tiefe zunehmenden hydrostatischen Druck. Radial- und Tangentialdruck wären in diesem Falle an jeder Stelle im Inneren der Kugel einander gleich.

Unter der Annahme einer konstanten Dichte δ der Erde berechnen wir den hydrostatischen Druck einer flüssigen Erd-

kugel in ihrem Zentrum. An der Erdoberfläche ist $\delta\,dr$ der von einer Schichte, deren Dicke dr ist, auf die Flächeneinheit ausgeübte Radialdruck, in Kilogrammgewicht für das Quadratdecimeter, wenn wir dr in Decimetern einsetzen. In tieferen Erdschichten ist das Gewicht der nämlichen Masse kleiner als an der Erdoberfläche; es nimmt ab mit dem Kugelradius, also proportional mit r/R. An einer beliebigen Stelle ist somit die Zunahme des hydrostatischen Druckes: $dp = \delta r\,dr/R$ und sein maximaler Wert im Erdzentrum wird:

$$p = \frac{\delta}{R}\int_R^0 r dr = -\frac{R\delta}{2},$$

derselbe absolute Betrag, den wir oben für den Maximalwert der Tangentialkomponente in der äussersten Schichte der Erdrinde erhalten haben. Von aussen bis in den Kugelmittelpunkt hinein nimmt der hydrostatische Druck zu, von Null bis zu diesem maximalen Werte, und an jeder Stelle einer flüssigen Erdkugel ist der Tangentialdruck gleich dem Radialdrucke.

Die Erde ist aber in ihrer Gesamtheit keine flüssige Kugel mehr; ihre äussersten Schichten sind vielmehr zu einer festen Rinde erstarrt, und in dieser werden unserer Rechnung zufolge die Tangentialdrucke so lange an Grösse zunehmen und eine Zermalmung der Substanzen herbeiführen, bis die Erdrinde auf dem inneren flüssigen Kerne aufliegt. Wegen der ungeheuren Werte jener Tangentialdrucke wird keine in der Erdrinde vorhandene Substanz im stande sein, diesem Zusammenziehen und Zusammenbrechen auf die Dauer zu widerstehen. Die weicheren Partien der Erdrinde werden verhältnismässig leicht nachgeben. Die harten starr gewordenen Gesteine aber übertragen jene Tangentialdrucke, welche grösser und grösser werden, je mehr der flüssige Erdkern durch Abkühlung sich zusammenzieht und je weniger die Erdrinde dieser Zusammenziehung Folge leistet. Haben die Tangentialdrucke genügend hohe Werte erreicht, so hört die Widerstandskraft der Gesteine und sogar diejenige der widerstandsfähigsten Metalle auf; dieselben zerbrechen entweder plötzlich, unter **Erdbeben**erscheinungen, oder bei manchen Materialien und unter besonderen Umständen langsam, unter Faltenbildung. Es kommen in letzterem Falle allmähliche Veränderungen der Erdrinde zu stande, hier Hebungen, dort Senkungen.

Dabei mögen in manchen Substanzen an denjenigen Stellen, welche übermässig starken Drucken ausgesetzt sind, molekulare Umlagerungen statthaben, Umkristallisationen, die mit der Erscheinung der Regelation des Eises einige Aehnlichkeit haben.

Die Erdrinde wird also stets mehr oder weniger auf dem glühend-flüssigen Erdkern lasten. Im Inneren des Kerns haben wir dann im Mittel ungefähr den oben berechneten mit der Tiefe zunehmenden hydrostatischen Druck. Diesem Drucke zufolge werden die Molekeln in grösseren Erdtiefen mit so grosser Gewalt zusammengepresst, dass sie ihre freie Beweglichkeit gegen einander fast ganz verlieren. Substanzen des Erdkerns, die im festen Aggregatzustande eine grössere Dichte besitzen, als im flüssigen, werden bei genügend grossen Drucken einen „kritischen" Zustand annehmen, welcher bezüglich seiner Dichte von dem festen Aggregatzustande sich nicht unterscheidet, in welchem indessen wegen der hohen Temperatur die benachbarten Molekeln doch keinen festen Verband miteinander eingehen, vielmehr bei der Aufhebung des Druckes stets sofort flüssig oder gasförmig werden.

Wegen des vielfachen Zusammenbrechens der Erdrinde besitzt dieselbe zahlreiche Risse und Spalten. Einzelne Spalten reichen bis zum flüssigen Erdkern hinab und geben zu Vulkanbildungen Veranlassung. Nach dem Prinzipe der kommunizierenden Röhren wird in solchen Spalten flüssige Masse des Erdinneren so weit in die Höhe getrieben, bis der Druck dieser Flüssigkeitssäule gleich dem Radialdrucke ist, welchen die feste Erdrinde auf den flüssigen Erdkern ausübt. Solange Gleichgewicht besteht, bleibt die Flüssigkeitssäule des Vulkans in Ruhe.

Kühlt sich nun das glühend-flüssige Erdinnere ab und lässt der von der festen Rinde auf den flüssigen Kern ausgeübte Radialdruck nach, so sinkt die Flüssigkeit im Vulkan; bricht dagegen die Erdrinde plötzlich um ein Stück zusammen, unter Erdbebenerzeugung, so steigt jene Flüssigkeit und ein **Vulkanausbruch** kann die Folge sein, wenn der Druck eine genügende Verstärkung erfahren hat. Langsame Aenderungen jenes Radialdrucks bewirken entsprechend langsame Bewegungen der Flüssigkeit im Vulkaninneren. Mit diesen sind aber doch immer Konvektionsströme verbunden, infolge deren Substanzen an die vom grossen Drucke befreite Oberfläche der Flüssigkeitssäule getragen werden,

welche Substanzen unter den nunmehrigen geringeren Drucken verdampfen, dabei glühende Flüssigkeiten herausschleudern und Vulkanausbrüche verursachen können. Die Bildung chemischer Verbindungen unter dem kleineren Drucke und bei der niedrigeren Temperatur wird diese Wirkungen möglicherweise noch verstärken.

Sind in der festen Erdrinde schon bei dem Uebergange der Substanzen aus dem flüssigen in den festen Aggregatzustand, oder vermöge des Auslaugens löslicher Gesteinsarten durch das fortwährend gegen das Erdinnere vordringende Wasser, oder mittels künstlicher Ausgrabungen, oder aus anderen Ursachen, grosse Höhlungen gebildet worden, so werden dieselben mit der Zeit — wegen der ungeheuren in der Erdrinde zustande kommenden Drucke — entweder langsam verkleinert oder plötzlich, unter Erdbebenbildung, unterdrückt.

An der Abkühlung des Erdkerns hat insbesondere das Wasser einen grossen Anteil, welches durch poröse Substanzen, durch zahllose Risse und Spalten in die Erdrinde ein- und bis zu Tiefen vordringt, in denen es auf so hohe Temperatur gebracht wird, dass es dort verdampfen muss, dass es nicht tiefer hinabsinken kann. Das erwärmte Wasser tritt in den warmen Quellen wieder zu Tage; erhält dasselbe sehr hohe Temperaturen, so kann es, wenn beispielsweise der Ausflussschacht gewisse Querschnittsverhältnisse besitzt, in gewaltsamen Ausbrüchen stossweise in die Höhe geschleudert werden, wie die Geiser beweisen. Dringen beträchtliche Wassermassen durch grössere Spalten rasch in sehr grosse Tiefen vor, so können plötzliche Verdampfungen zustande kommen, welche gleichfalls gewaltsame Ausbrüche veranlassen. Treten noch Erscheinungen, wie das Leydenfrostsche Phänomen, hinzu, so haben wir Erdbeben, unter Umständen auch Vulkanausbrüche zu gewärtigen. — Aehnlich wie Wasser müssen andere Flüssigkeiten im Erdinneren sich verhalten, wenn sie leicht verdampfen.

Die Atmosphäre.

Auf der Erdoberfläche nehmen hauptsächlich die Erscheinungen in der Atmosphäre unsere Aufmerksamkeit in Anspruch. Wir wollen dieselben einer genaueren Untersuchung unterwerfen, haben aber dabei schon äussere, insbesondere von der Sonne,

zum Teil auch vom Monde herrührende Einwirkungen auf die Erdkugel mit zu berücksichtigen.

Von der Sonne erhalten wir die Lichtstrahlen, welche sich durch den freien Weltäther fast ungeschwächt fortpflanzen, in der Erdatmosphäre und an der Erdoberfläche aber grösstenteils absorbiert werden. Die Intensität dieser Strahlen nimmt mit dem Quadrate der Entfernung von der Sonne ab.

Wäre die Sonne ein statisch elektrisierter Körper von hohem Potentiale, so würde sie elektrische Energie ausstrahlen, jedoch nur wenig, weil der Aether, wie wir S. 16 gesehen haben, für statische Elektrizität ein schlechter Leiter ist; es müsste denn ein äusserer Körper, etwa die Erdkugel selber, fortwährend elektrische Energie vernichten, bezw. in andere Energien überführen, so dass dynamische Elektrizitätsbewegungen aufträten, für welche der Aether umgekehrt ein sehr guter Leiter ist. Indessen wäre in diesem Falle der Vorrat der Sonne an statischer Elektrizität vermutlich bald erschöpft, wenn nicht fortwährend neue Elektrizität dort erzeugt würde; auch müsste wohl die Elektrizität stets auf der von der Sonne beleuchteten Seite in die Erde einströmen, was bis dahin niemals beobachtet worden ist. Allerdings haben wir auf der Erde mannigfaltige elektrische und magnetische Erscheinungen; allein dieselben sind offenbar ganz anderer Natur und scheinen nur indirekt von der Sonne abzuhängen.

Wir wollen also annehmen, von äusseren Einwirkungen auf die Erde seien nur die Lichtstrahlen zu berücksichtigen, welche von der Sonne ausgesandt werden; ausserdem die von der Sonne ausgeübte Gravitationskraft. Vom Monde dagegen sind auf die Vorgänge in der Erdatmosphäre seine Lichtwirkungen kaum von merklichem Einflusse; dagegen wird die von demselben ausgeübte Gravitationskraft nicht ohne weiteres zu vernachlässigen sein.

Statt der Erde denken wir uns zuerst eine ruhende Kugel von derselben Grösse und Masse, deren Oberflächentemperatur 0^0 C. betrage, eingehüllt von einer Atmosphäre bestehend aus Stickstoff und Sauerstoff, gemengt in dem Verhältnisse, welches der Luft entspricht. An der Berührungsfläche von Kugel und Atmosphäre finde Temperaturgleichheit statt (0^0). Die kinetische Gastheorie giebt uns die Mittel an die Hand, die mittlere Geschwindigkeit der Luftmolekeln zu berechnen, beispielsweise für

jene Temperatur des Eispunktes. Clausius fand 485 Meter in der Sekunde als Mittelwert dieser Geschwindigkeit [1]). Mit ihr stossen die Luftmolekeln auf die Oberfläche unserer Kugel; mit derselben Geschwindigkeit werden sie wegen jener Temperaturgleichheit von der Kugeloberfläche wieder zurückgestossen; gleich gross ist endlich die Geschwindigkeit der an der Kugeloberfläche horizontal hin- und herfliegenden Molekeln.

Die Molekeln werden durch die Schwerkraft auf der Kugel zurückgehalten. Fliegt eine derselben mit einer bestimmten Geschwindigkeit radial von der Kugel weg, so kann sie sich nicht über eine gewisse Höhe erheben, nicht über ein bestimmtes Maass von der Kugeloberfläche sich entfernen. Das Gesetz des freien Falles lehrt uns, dass keine senkrecht aufsteigende Molekel, welche eine anfängliche Geschwindigkeit von 485 Meter in der Sekunde besitzt, weiter als etwa 12 Kilometer von der Kugeloberfläche wegfliegen kann. In solcher Höhe angekommen hat die Molekel ihre fortschreitende Geschwindigkeit vollständig verloren, sie muss wieder auf die Kugel zurückfallen. Sind sehr viele Luftmolekeln über der Kugeloberfläche vorhanden, so unterliegen sie alle denselben Gesetzen. Sie können sich alle im Mittel nicht weiter von der Kugeloberfläche entfernen, als soeben angegeben wurde. Ist die Zahl derselben so gross, wie in unserer Atmosphäre, so stossen sie bei ihren Bewegungen nach ganz kurz durchlaufenen Wegen auf Nachbarmolekeln. Sie zucken gewissermassen nur hin und her, tauschen bei den Zusammenstössen Geschwindigkeiten aus. Ferner verlieren alle diejenigen Molekeln, welche sich von unserer Kugel entfernen, einen Teil ihrer Geschwindigkeit; alle Molekeln, welche sich der Kugel nähern, gewinnen solche; die horizontal sich bewegenden behalten ihre Geschwindigkeiten bei. Vergrössern wird sich aber die Höhe der Atmosphäre nicht, wenn auch der Luftmolekeln noch so viele sind, ausgenommen die letzteren seien in so grosser Anzahl vorhanden, dass sie auf der Kugeloberfläche gar keine freien Bahnen mehr beschreiben, sondern sich stets berühren und also die Wärme ähnlich wie Flüssigkeiten in die Höhe leiten.

---

[1]) Wir rechnen hier stets mit den von Clausius gegebenen Mittelwerten, aus den S. 9 angegebenen Gründen.

Die absolute Temperatur der äussersten Schichte einer solchen Atmosphäre der Kugel ist stets Null Grad, unserer Definition zufolge, wenn die Molekeln die Geschwindigkeit Null relativ zu einander haben. Wegen dieser geringen Molekulargeschwindigkeiten in den äussersten Schichten der Atmosphäre haften die Molekeln dort bei der Berührung aneinander, sie vereinigen sich zu Molekelaggregaten, zu flüssigen Tropfen. Letztere fallen in Regionen grösserer Molekulargeschwindigkeiten herab und vermindern nun vermöge ihrer grösseren Masse, die übermässig gross gewordenen Geschwindigkeiten einzelner Molekeln der Atmosphäre (S. 50). Hiernach ist die **Temperatur des Weltalls** Null Grad absolut, oder —273° Celsius. Die absolute Temperatur der äussersten Schichten unserer Erdatmosphäre hätte ungeheure Beträge, wenn man, entgegen unserer Definition, die absoluten Geschwindigkeiten der Molekeln, zum Beispiel in Beziehung auf die Sonne, in Rechnung bringen wollte.

Die Höhe unserer Erdatmosphäre beträgt aber nicht 12 Kilometer, sondern weit mehr, vielleicht sogar über 100 Kilometer. Nun würde sich freilich eine wesentlich grössere Höhe derselben ergeben, wenn wir annähmen, über der aus Stickstoff und Sauerstoff bestehenden Luft befinde sich noch eine beträchtliche Wasserstoffhülle [1]). Diese könnte aber wegen der auftretenden Diffusion und wegen vielfacher Konvektionsströme nicht völlig getrennt von unserer Stickstoff-Sauerstoffluft sein, sondern es müssten sich langsame Uebergänge zeigen. Bis zu den von Menschen erreichten Höhen (etwa 9 Kilometer) ist aber eine Andeutung eines solchen Diffusionsbezirkes, in welchem das Wasserstoffgas merklich an Menge zunähme, noch nicht durch Beobachtungen nachgewiesen worden, so dass an einen sehr bedeutenden Einfluss einer Wasserstoffhülle auf die Atmosphärenhöhe schwerlich gedacht werden kann.

Um nun diese Abweichung der wirklichen Atmosphärenhöhe von der durch die kinetische Gastheorie geforderten zu erklären, hat man einen Satz der mechanischen Wärmetheorie zu Hülfe genommen, welcher sich auf adiabatische Zustandsänderungen

---

[1]) Der Umstand, dass die äusserste Schichte der Sonnenatmosphäre offenbar überwiegend Wasserstoff enthält, lässt eine derartige Vermutung aufkommen.

bezieht und nach welchem Gase sich in ganz bestimmter Weise ausdehnen oder zusammenziehen, wenn ihnen keinerlei Wärmeaustausch mit der Umgebung ermöglicht wird. Man betrachtete demzufolge eine vertikale atmosphärische Luftsäule von konstantem Querschnitte, nahm an, dieselbe sei auf allen Seiten von Wänden eingeschlossen, welche für Wärme nicht durchlässig seien, und wandte jenen Satz der mechanischen Wärmetheorie auf diese Luftsäule an. Oder man setzte voraus, was auf dasselbe herauskommt, die Vorgänge der Ausdehnung bezw. der Zusammenziehung geschehen so rasch, dass jene Luftsäule inzwischen von benachbarten Luftteilchen keine Wärmezufuhr erhalten, dass sie aber auch keine Wärme nach aussen abgeben könne. Das Gas vermag in einem solchen Falle nur auf Kosten seines eigenen Wärmeinhaltes sich auszudehnen; es kühlt sich dabei ab, weil es bei der Ausdehnung den betreffenden Luftdruck überwindet, also Arbeit leistet. Im entgegengesetzten Falle der Kompression erwärmt es sich.

Jener Satz der adiabatischen Zustandsänderungen wurde aus der mechanischen Wärmetheorie abgeleitet für Gase unter Vernachlässigung des Einflusses der Schwerkraft; nachher wurden seine Folgerungen unbedenklich übertragen auf die Atmosphäre mit ihren bedeutenden Höhendifferenzen, bei welchen die Schwerkraft doch eine so grosse Rolle spielt! Eine solche Uebertragung einseitig abgeleiteter theoretischer Folgerungen auf ganz andere Verhältnisse ist aber nicht gestattet, und sie ist insbesondere hier nicht richtig! Mit solcher Vernachlässigung der Schwerkraft kommen wir zu dem widersinnigen Resultate, dass die Höhe der Erdatmosphäre unendlich gross sei, was der Wirklichkeit niemals entsprechen kann.

Wir müssen also eine andere Ursache suchen für jene Nichtübereinstimmung der wirklichen mit der aus den Fallgesetzen berechneten Atmosphärenhöhe. Dabei wollen wir die elektrischen Wirkungen etwas genauer ins Auge fassen, da unsere Atmosphäre so vielfache elektrische Erscheinungen zeigt.

Aus früheren Entwickelungen (S. 70) müssen wir den Schluss ziehen, dass die Luftmolekeln und unsere Kugeloberfläche bei ihrer Berührung elektrische Energien austauschen und dass dadurch zwischen ersteren und letzterer eine Potentialdifferenz zu stande kommt. Jene Kugel ist indessen ganz gleichmässig von

Luft eingehüllt, sie hat überall die gleiche Oberflächentemperatur von 0° C. Die Potentialdifferenz ergiebt sich überall gleich, so dass Molekeln, welche mit der Kugel entgegengesetzte Elektrizität besässen, nirgends von ihr abgestossen, vielmehr stets von ihr angezogen würden. Wir gewinnen also in dieser Weise nichts. Wir müssen tiefer in das Wesen der Bewegungen unserer Erdatmosphäre eindringen.

In Wahrheit ist die Erde keine Kugel von überall gleicher Oberflächentemperatur, sondern sie lässt gerade in dieser Beziehung grosse Unterschiede erkennen. Am Aequator ist ihre Oberfläche warm, an den Polen kalt. Das Festland kann bedeutend höhere Oberflächentemperaturen haben als das Wasser der Meere; es kann auch kälter sein. Je wärmer aber die Erdoberfläche ist, um so grösser ist in der Regel der Wasserdampfgehalt der über ihr lagernden Luft, entsprechend dem grösseren Sättigungsdrucke des Wasserdampfes bei höheren Temperaturen. — Unsere betrachtete Kugel zeige nun die soeben beschriebene Beschaffenheit ungleicher Temperaturverteilung, ähnlich der Erdkugel!

Aus den früher genannten Gründen muss die Atmosphärenhöhe grösser zu werden suchen über dem Aequator als über den Polen, grösser über wärmerem Festland als über kälteren Meeresoberflächen. Die nur von der Schwerkraft bedingten Niveauflächen einer Kugel sind aber immer wieder konzentrische Kugelflächen, wenn die Oberfläche jener Kugel selber eine Niveaufläche ist. Ungleichheiten in der Atmosphärenhöhe werden also möglichst ausgeglichen. Es entstehen Konvektionsströme, welche auf einer Kugel von der zuletzt angenommenen Beschaffenheit im wesentlichen am warmen Aequator aufsteigen, in oberen Regionen in der Richtung der Meridiane gegen die kalten Pole strömen, dort absteigen und längs der Kugeloberfläche wieder zum Aequator fliessen. Die in der Atmosphäre auftretenden Konvektionsströme bezeichnen wir als **Winde.**

Diese Kugel mit Ozeanen und Festland, in eine Atmosphäre eingehüllt, würde bei unveränderlichen Oberflächentemperaturen immer noch nicht die gleichen Erscheinungen zeigen wie die Erde. Sie zeigt dieselben aber, wenn sie sich so bewegt, wie es bei der Erde der Fall ist. Weil die Sonnenstrahlen immer wieder andere Stellen der Erdoberfläche treffen und dieselben

erwärmen, jedoch nur da, wo nicht der in der Atmosphäre vorhandene Wasserdampf, Wolken oder Nebel, die Sonnenwärme vorher absorbiert, so entstehen kräftige Winde in grosser Mannigfaltigkeit, deren Richtung durch die Richtung der Erddrehung noch beeinflusst wird. Die durch Winde bewegte Luft kühlt sich ab, wenn sie aufsteigt, erwärmt sich, wenn sie niedersinkt. Ist dieselbe bei Beginn des Aufsteigens mit Wasserdampf gesättigt, hat also der Wassergehalt der Luft den ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungsdruck erreicht, so wird sich in der aufsteigenden Luftsäule Dampf kondensieren müssen, und **Regen** (Schnee, Hagel) fällt auf die Erde nieder. Ein absteigender Luftstrom wird dagegen stets verhältnismässig trocken sein, um so trockener, je rascher er absteigt, weil er sich durch das Fallen erwärmt, ohne dass er dabei ebenso rasch neuen Wasserdampf in sich aufnehmen könnte.

Wenden wir uns unter so veränderten Verhältnissen wiederum den elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre unserer Kugel zu, so erkennen wir, dass die Winde nun auch Elektrizität mit sich führen werden. Zwar ist durch keine Versuche nachgewiesen worden, dass Luft gegen die Erdoberfläche eine merkliche Potentialdifferenz annehme. Auch würden wir mit solchen Vorgängen, wenn sie wirklich bekannt wären, die elektrischen Erscheinungen der Erdatmosphäre nicht genügend erklären können, weil Luft über der ganzen Erdoberfläche ziemlich gleichmässig vorhanden ist. Dagegen sind mit Wasserdampf starke elektrische Wirkungen hervorzubringen, wie vielfache Versuche beweisen.

Mit Faradays Dampfelektrisiermaschine erhalten wir infolge des mit Reibung verbundenen Dampfaustritts ganz bedeutende elektrische Potentialdifferenzen. Ein ähnliches Ergebnis muss durch Reibung von Wasserdampf an der Erdoberfläche [1]) erhalten

---

[1]) H. von Helmholtz sagt über die Wasserfallelektrizität in seiner kritischen Beilage zur Vorrede zu der Uebersetzung von Tyndalls Fragments of science: „Teile des fallenden Wassers werden gegen die Felsen gepeitscht und durch Reibung oder einen der Reibung ähnlichen Prozess elektrisiert. Wie wirksam ein solcher sei, zeigt die gewaltige Wirkung von Faradays Dampfelektrisiermaschine, welche nachweisbar davon herrührt, dass dem Dampf beigemischte Wassertröpfchen gegen das Metall der Ausgangsöffnung geschleudert werden."

werden, ganz besonders in den Tropen, in welchen viel mehr Wasserdampf in der Luft enthalten ist als in den kalten Zonen. Die Winde vervielfachen die Erzeugung der Berührungselektrizität, sie begünstigen durch Reibung die Entwickelung derselben: Wir erhalten in der That Reibungselektrizität. Der Wasserdampf als Träger der positiven Reibungselektrizität, welche wir **atmosphärische Elektrizität** oder Luftelektrizität nennen, wird von den Erregungsflächen abgestossen und steigt, wenn solche Flächen sehr ausgedehnt sind, senkrecht in die Höhe. Durch Kondensation von elektrisierten Wasserdampfmolekeln zu flüssigen Tröpfchen kann eine beträchtliche Potentialsteigerung zu stande kommen.

Die Elektrizitätsentwickelung an der erwärmten Erdoberfläche und hauptsächlich in der heissen Zone dauert immer fort, Tag und Nacht, weil die Luft stets mehr oder weniger bewegt ist. Die Stelle stärkster Entwickelung muss sich mit dem Sonnenstande teilweise verschieben, so dass wir tägliche und jährliche periodische Aenderungen der atmosphärischen Elektrizität zu erwarten haben. Immer aber wird Wasserdampf mit atmosphärischer Elektrizität von den Tropen aufwärts steigen, in die höchsten Regionen, und weil diese Elektrizität stets gleichartig entstanden ist, wird sie stets gleichartiges Vorzeichen haben, erfahrungsgemäss das positive. Diese gleichartig elektrisierten Wassermolekeln üben abstossende Kräfte aufeinander aus. Dieselben würden auf einer Kugelhülle sich anordnen, welche die Erde konzentrisch umgiebt, welche sich aber vermöge der gegenseitigen Abstossung aller ihrer Teilchen fortwährend vergrössern müsste, wenn nicht andere Kräfte gleichzeitig ihre Wirkung ausübten.

Bei der Entwickelung jener positiven Elektrizität durch Reibung von Wasserdampf an erwärmten Erdoberflächenteilen entsteht genau gleich viel negative Elektrizität in der Erde. Sie wird gleichfalls von ihren Erregungsflächen abgestossen nach dem Erdinneren hin, fliesst aber, weil die Erde als leitende Kugel zu betrachten ist, bald wieder gegen deren Oberfläche hin, sammelt sich in der Erdoberfläche an. Im allgemeinen wird auch sie so weit als möglich von den Haupterregungsflächen der heissen Zone abgestossen, sie geht also an die Pole. Die Elektrizitätsbewegungen im Inneren der Erde geben sich uns als **Erdströme** kund.

Sehen wir ab von den Fernewirkungen der elektrischen Erregungsflächen der heissen Zone, welche als elektrische „Doppelflächen“ nach aussen, wenigstens auf grössere Entfernungen hin, keine merklichen Kraftwirkungen ausüben; vernachlässigen wir sodann die Fernewirkungen aller derjenigen elektrisierten Wasserdampfteilchen, welche eben von den Tropen aufsteigend die höchste Atmosphärenhöhe zu erreichen suchen, so können wir die Erde annähernd als negativ elektrisierte Kugel auffassen, eingehüllt von einer Kugelschale positiver Elektrizität. Anziehende oder abstossende elektrostatische Wirkungen einer solchen gleichmässig positiv elektrischen Kugelhülle sind für uns, im Inneren derselben, nicht wahrzunehmen, nach den Sätzen der Potentialtheorie. Dagegen wirkt die Erde in der Regel wie eine negativ elektrisierte Kugel: Sie erzeugt ihr elektrisches Feld, hat in diesem ihr Potentialgefälle. Die Atmosphäre ist selber in ein elektrisches Feld verwandelt worden, in welchem wir Potentialdifferenzen messen; ihre äusserste Schichte wird gebildet durch die positiv elektrische Kugelschale, deren Wirkungen wir nicht wahrnehmen können. Schon Sir W. Thomson hat auf solche Verhältnisse hingewiesen.

Die Gas- und Dampfmolekeln unserer Atmosphäre befinden sich nun nicht mehr in einem gewöhnlichen Gaszustande, sondern sie vermitteln den Elektrizitätstransport im elektrischen Felde zwischen der negativen Erdkugel und der positiven Hülle der obersten Atmosphärenschichten; sie sind elektrisiert. Elektrische Kräfte und die Schwerkraft wirken vereint auf dieselben ein, und die thatsächlichen fortschreitenden Geschwindigkeiten der Molekeln, ihre Geschwindigkeitsänderungen bei der auf- und absteigenden Bewegung sind eine Folge des Einflusses dieser verschiedenen Kräfte. Die grösste Höhe der Atmosphäre wird bedingt durch die gemeinsame Wirkung von Schwerkraft und elektrischen Kräften, abstossenden sowohl als anziehenden, auf jene positiv elektrisierten Wassermolekeln, welche die oberste Schichte unserer Atmosphäre bilden.

Die Elektrizitätserregung ist besonders in der heissen Zone eine verhältnismässig gleichförmige. Von den Tropen wird negative Elektrizität durch die Erdkugel gegen die Pole hin, positive Elektrizität senkrecht nach oben getrieben. Die positive Elektrizität in der höchsten Höhe der Atmosphäre breitet sich immer

mehr aus, strömt über die Erregungsfläche, die Tropen, hinweg, gleichfalls in der Richtung gegen die Pole hin. Die entgegengesetzten Elektrizitäten ziehen sich an. Nur da, wo die Erregungsflächen sich befinden, überwiegen die abstossenden Kräfte der fortwährend neu sich bildenden, gleichnamigen Elektrizität; ausserhalb der Erregungsflächen überwiegen die anziehenden Kräfte, und die ungleichnamigen Elektrizitäten suchen sich auszugleichen.

Ist die Atmosphäre kein genügend guter Leiter, um an beliebiger Stelle einen stärkeren konstanten Elektrizitätsfluss oder vollständige Entladungen zwischen ihren äussersten Schichten und der Erdoberfläche zu stande kommen zu lassen, und sind anderseits die anziehenden Kräfte der beiden entgegengesetzten, auf der Erdoberfläche und in der äussersten Atmosphärenhülle angehäuften Elektrizitäten nicht gross genug, um schon in der heissen oder in den gemässigten Zonen eine genügende Herbeiziehung der positiv elektrischen Wassermolekeln jener Hülle gegen die Erdoberfläche hin zu veranlassen, so strömen diese Wassermolekeln längs der oberen Grenze der Atmosphäre bis zu den Polen. In ihrer ganzen Bewegung werden dieselben begünstigt durch die Strömungen der in den Tropen erhitzten, aufsteigenden Luft, welche, wie wir früher sahen, in höchster Höhe der Atmosphäre am Aequator gleichsam überfliesst, gegen die Pole der Atmosphärenkugel strömt, dort gegen die Erdpole fällt und schliesslich über die Erdoberfläche hinweg wieder dem Aequator zustrebt. Elektrische Entladungen werden also in den obersten, elektrisierten Wasserdampf führenden Atmosphärenschichten zu stande kommen, in verstärktem Maasse in der Umgebung der Pole, weil dorthin die entgegengesetzten Elektrizitäten von allen Seiten herbeiströmen.

Wir nehmen solche elektrischen Entladungen, welche mit Glimmlichtentladungen eine gewisse Aehnlichkeit haben, als **Polarlichter** wahr, grösstenteils zur Zeit der langen Nächte, während der kälteren Jahreszeit, nämlich im Winter als Nordlicht auf der nördlichen Hemisphäre, in unserem Sommer als Südlicht auf der südlichen Hemisphäre. Dann ist jedesmal der eine Pol, an dem das Polarlicht entsteht, weiter als der andere Pol von demjenigen Teile der heissen Zone entfernt, über welchem die Sonne kulminiert, auf welchem somit die Elektrizitätserregung

besonders begünstigt wird. In der That muss nach elektrostatischen Gesetzen an jenem Pole die Potentialdifferenz gegen die Erregungsflächen eine grössere sein. Anderseits ist aber am kälteren Pole die Isolationsfähigkeit der Atmosphäre wahrscheinlich doch eine grössere, und beide Umstände vereint bedingen erst die Häufigkeit des Zustandekommens der Polarlichter.

Gase und Dämpfe sind, wie wir S. 71 gesehen haben, schlechte Elektrizitätsleiter, wenn keine Konvektionsströme in denselben auftreten; andernfalls, und besonders wenn zahlreiche grössere Molekelaggregate, zum Beispiel Dampfbläschen, in denselben enthalten sind, werden sie gute Leiter. In der heisseren Jahreszeit unserer gemässigten Zone — wenn die Sonne den Erdboden stark erwärmt, ein warmer Luftstrom langsam in die Höhe steigt, welcher grosse Wasserdampfmengen mit sich führt — werden grosse Elektrizitätsmengen durch Konvektionsströme in die Höhe geleitet. Dabei wird die negative Elektrizität der Erde fortgeführt, wenn keine heftigen Winde elektrisch erregend auf den betreffenden Wasserdampf eingewirkt haben. Die Potentialdifferenz zwischen der Erdoberfläche und den obersten Punkten jenes aufwärts steigenden Luftstroms wird somit vermindert; in entsprechendem Maasse wird aber die Potentialdifferenz zwischen jenen Punkten und den höchsten Regionen der Atmosphäre vermehrt. Die Steigerung der Potentialdifferenz kann so gross werden, dass elektrische Entladungen in der Atmosphäre, dass **Blitze** zu stande kommen, zuerst von den höchsten Regionen der Atmosphäre gegen die obersten Teile des aufsteigenden, Wasserdampf unsichtbar oder als sichtbare Wolke mitführenden Luftstromes hin, dann von diesem gegen die Erde. Aus Wassertröpfchen oder -bläschen (je nach ihrer elektrischen Spannung) bestehende Wolken werden gleichsam zum Kampfplatz für die beiden entgegengesetzten Elektrizitäten der Erdkugel und ihrer Atmosphäre, weil sie wegen ihrer grossen Kapazität bedeutende Elektrizitätsmengen in sich aufspeichern können: In ihnen suchen sich jene beiden Elektrizitäten auszugleichen. Wie ein Spielball werden die Wolken dabei herumgeworfen, bald gehoben, wenn sie durch Entladungen nach der Erde hin negativ, bald gesenkt, wenn sie durch Entladungen von den obersten Regionen her positiv elektrisch geworden sind. Je nach dem Sättigungsdrucke des Wasserdampfes für seinen

betreffenden Temperaturzustand und je nach der Spannung der auf den Wasserteilchen und um sie herum vorhandenen Elektrizität werden die letzteren voneinander sich entfernen, die Wolken sich auflösen; oder sie werden unmerkliche Ortsveränderungen erleiden; oder sie vereinigen sich, unter Vermehrung ihrer augenblicklichen elektrischen Spannung, und fallen als Regen zur Erde nieder. Infolge dieser Kondensation des Wasserdampfs treten luftverdünnte Räume auf, welche zu neuen aufsteigenden Luftströmen und dadurch zu verlängerter Dauer von Gewittererscheinungen Veranlassung geben.

Während der heissen Jahreszeit mögen in der gemässigten Zone **lokale Gewitter** entstehen durch warme, stark wasserhaltige Winde, welche Elektrizität durch Reibung ihrer Wassermolekeln am Erdboden direkt entstehen lassen, ähnlich wie in den Tropen. Zwar werden die in solcher Weise positiv elektrisierten Wassermolekeln von der Erde abgestossen, sie werden aufsteigen, sich kondensieren und ihre elektrische Spannung vermehren, solange sie sich über einer Erregungsfläche befinden; sie werden aber ausserhalb der letzteren von der Erde wieder angezogen, so dass ihre Elektrizität mit der in entsprechendem Maasse erzeugten negativen Erdelektrizität unter Blitzerscheinungen und Gewitterbildung sich ausgleicht[1]). Luftdruckverminderung durch Kondensation desjenigen Wasserdampfs, welcher seine elektrische Spannung grösstenteils verloren hat, unterhält auch diese lokal entstandenen, oft verheerenden Gewitter; die Erdrotation verbunden mit der ungleichen Erwärmung der Erdoberfläche, sorgt für Fortleitung derselben über grosse Erdstriche hin.

Die Vorgänge in der Atmosphäre unserer Erdkugel sind immer noch nicht genügend gekennzeichnet, weil wir bis dahin mehr den Einfluss der Bewegung der Sonne relativ zur Erde, als die wirkliche Bewegung der Erde berücksichtigt haben. Die Erde rotiert um eine in ihrem Inneren liegende Achse; sie läuft in ungeheuren Kreisen um die Sonne, bewegt sich mit der Sonne im Weltall vorwärts. Untersuchen wir den gesamten Einfluss dieser Bewegungen!

Würde die Atmosphäre von der Erdkugel bei ihrer Bewegung vollständig mitgerissen, also relativ zu ihr in Ruhe bleiben, so

[1]) In ähnlicher Weise entstehen Gewitter bei Vulkanausbrüchen.

würden bei den erläuterten Vorgängen kaum wesentlich andere Resultate abgeleitet werden können. Jenes ist aber nicht der Fall! Die Atmosphäre bleibt vielmehr in ihrer Gesamtheit hinter der bewegten Erdkugel zurück. Die Winkelgeschwindigkeit bei jener ist im Mittel geringer als bei dieser; sie wird besonders in der Nähe des Aequators um so geringer, je höher die betrachteten Teilchen sich befinden, weil die entsprechende von der Erdrotation herrührende Tangentialkomponente der Geschwindigkeit der Luftteilchen nicht nur nicht zunehmen kann, sondern umgekehrt um so mehr abnehmen muss, je weiter solche Teilchen von der Erdoberfläche sich entfernen, nach Maassgabe der Keplerschen Gesetze.

Auf die ganze Erdkugel und ihre Atmosphäre wirkt ferner ein Aetherdruck, welcher die Vorwärtsbewegung der Erde im Weltall zu hemmen sucht. Die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne beträgt etwa 30 Kilometer in der Sekunde, eine sehr grosse Geschwindigkeit, welche alle von der Erde vollständig mitgerissenen Teilchen besitzen. Nun lässt sich berechnen, welchen Widerstand ein in Gasen bewegter Körper dadurch erfährt, dass er allen in seiner Bewegungsrichtung gegen ihn stossenden Molekeln dem Stosse entsprechend grössere Energien, grössere Geschwindigkeitskomponenten beibringen muss. Ohne weitere Rechnung ist aber klar, dass ein solcher Widerstand um so wirkungsvoller eingreift, je geringer im betrachteten Falle die Masse ist, welche die gegebene Oberfläche vorwärts schiebt, je geringer die bei gegebener Geschwindigkeit zur Energieübertragung an das Gas verfügbare lebendige Kraft des Körpers im Verhältnis zu seiner Oberfläche ist. Aehnliche Widerstände erfahren alle Körper im Weltäther. Es finden deshalb die kleineren gasförmigen Molekeln der Atmosphäre einen verhältnismässig grösseren Widerstand gegen ihre fortschreitende Bewegung im Aether, als die feste Erdkugel mit ihrer grossen Masse: jene müssen bei der Fortbewegung der Erdkugel hinter dieser zurückbleiben, so dass die Atmosphäre nicht konzentrisch mit der Erdkugel bleibt, sondern in der Fortbewegungsrichtung gegen sie verschoben erscheint, wie es Fig. 7 anschaulich macht. Das Lagenverhältnis der Erdkugel und ihrer Atmosphäre ist in der Figur auffällig und übertrieben gezeichnet, weil sich daraus leichter erkennen lässt, dass diese gegenseitige Verschiebung die

Rotation der Atmosphäre um die Erdachse wirklich aufzuhalten sucht; ganz besonders anschaulich wird dieser Einfluss, wenn man beide Kreise bis zu einseitiger Berührung bei *a* einander genähert denkt. In der That müssten die Molekeln der Atmosphäre bei *a* wegen des kleineren Querschnitts der letzteren grössere Geschwindigkeiten besitzen, als die Oberfläche der Erde selber (wie dies in der Figur durch verschiedene Pfeillängen angedeutet wurde), um während jeder Umdrehung der Erdkugel die ganze Luftmasse der Atmosphäre im Sinne der Rotation an der Stelle *a* vorbeizuschaffen, was undenkbar erscheint. Im Gegenteil werden die Luftmolekeln aus den angeführten Gründen auch in der Richtung der Rotationsbewegung der Erde einen grösseren Aetherwiderstand finden, als die feste Erdkugel, ein neuer Einfluss, welcher die Atmosphärenrotation zu verzögern sucht.

Fig. 7.

Endlich sorgt die Luftzirkulation zwischen den Polen und dem Aequator, welche bestrebt ist, an der Erdoberfläche die Luft von ersteren zu letzterem, in den obersten Atmosphärenschichten umgekehrt zu treiben, dafür, dass die Rotationskomponenten der Atmosphäre in verschiedenen Breitegraden teilweise ausgeglichen werden. Luftteilchen, von den Polen zum Aequator strömend, besitzen an letzterem geringere Rotationskomponenten, als die Erdoberfläche; die in entgegengesetzter Richtung strömenden Luftteilchen verhalten sich umgekehrt an den Polen.

Die Atmosphäre hat aus diesen vereinten Gründen [1]) zum mindesten am Aequator relativ zur Erdkugel eine starke ostwestliche Bewegungskomponente; ebenso die in ihr angesammelte Luftelektrizität, und ganz besonders die grosse Menge positiver

[1]) Die Gezeiten wirken im nämlichen Sinne ein, wie später erläutert wird.

Elektrizität in ihren obersten Regionen. Diese grosse relativ zur Erde bewegte Elektrizitätsmenge, dieser elektrische Konvektionsstrom um die Erde muss — übereinstimmend mit Versuchen von Rowland — auf unsere magnetisierbaren Teilchen eine von Nord nach Süd weisende Richtkraft hervorbringen, in dem Sinne, dass die Magnetnadel mit ihrem Nordpole nach Süden zeigen würde, wenn sie allein unter dem Einflusse jenes Konvektionsstromes stände. Das in der Erdrinde zum Teil in vielen Verbindungen, zum Teil ziemlich rein vorhandene Eisen muss aber unter jenem Einflusse gleichfalls magnetisch werden. Wir erhalten in der Nähe des geographischen Südpols der Erde freien Nordmagnetismus, und umgekehrt in der Nähe des geographischen Nordpols derselben freien Südmagnetismus. Der **Erdmagnetismus** leitet sich also ab aus der relativen Bewegung der atmosphärischen Elektrizität gegen die Erdkugel. Er zeigt, wie die Luftelektrizität, sowohl tägliche als jährliche periodische Schwankungen, neben vielen anderen Schwankungen. Unsere Magnetnadel steht nicht ausschliesslich unter dem Einflusse der teils permanent, teils temporär magnetischen Eisenmassen der Erde, sondern ausserdem noch unter den elektromagnetischen Einflüssen der Erdströme und der strömenden atmosphärischen Elektrizität.

Einfluss des Mondes und der Sonne.

Der Mond übt vermöge seiner Masse eine Anziehungskraft auf die ganze Erde und auf alle irdischen Körper aus. Wegen ihres geringen Betrages haben wir dieselbe noch nicht mit Sicherheit messen können. Die Kraft ist aber vorhanden, ebenso wie die Anziehungskraft, welche die Erde auf den Mond ausübt. Diesen beiden Kräften zufolge beschreibt die Erde nicht einen Kreis, bezw. eine Ellipse, um die Sonne, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunkt von Erde und Mond beschreibt diese Kurve, und der Erdmittelpunkt schneidet dieselbe in einer langgestreckten Schlangenlinie etwa 25mal im Jahre. Die Anziehungskraft des Mondes äussert sich ferner in den Gezeiten, in den bekannten Ebbe- und Fluterscheinungen des Meeres. Aehnliche, aber etwas schwächere Wirkungen auf die Körper der Erdoberfläche rühren her von der Anziehungskraft der Sonne.

Verstärken sich diese beiden Kräfte in ihren Wirkungen auf die Meeresoberfläche, so geben sie da und dort zu starken Springfluten Veranlassung.

Auf das glühend-flüssige Erdinnere müssen die genannten Kräfte gleichfalls einwirken. Der Druck der Erdrinde auf die glühende Masse des Erdkerns wird durch die Anziehung des Mondes verändert; einen analogen Einfluss hat die Sonne. Diesen Druckänderungen zufolge müssen in den Vulkanen die glühenden Flüssigkeitssäulen auf- und absteigende Bewegungen ausführen, Konvektionsströme in ihnen werden erleichtert. Die Wahrscheinlichkeit eines Erdbebens (S. 89), sowie auch diejenige eines Vulkanausbruchs ist somit ungefähr in der Zeit eines Voll- oder Neumondes eine grössere als zu allen anderen Zeiten.

Sonne und Mond erzeugen Flutwellen auch in der Atmosphäre selber. Wir können die Vorgänge mit dem Quecksilberbarometer nicht ohne weiteres beobachten und erkennen, weil sein Quecksilber gleichfalls jenen Anziehungen unterliegt, und weil die atmosphärische Flutwelle von auf- und absteigenden Luftströmen begleitet ist [1]). Solche Flutwellen müssen aber in der Atmosphäre zu stande kommen, weil die obersten Regionen der letzteren ihre Oberfläche jenen fluterzeugenden Kräften anzupassen bestrebt sind. — Ein Einfluss der gegenseitigen Stellung von Sonne und Mond auf das Wetter konnte bis dahin nicht nachgewiesen werden.

Die Gezeiten haben eine Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit der Atmosphäre und des Wassers der Meere, relativ zum festen Erdkörper, im Gefolge. Sie suchen demnach die Rotationsdauer der Erde um ihre Achse zu vergrössern, sie mit der Umlaufszeit des Mondes um die Erde, bezw. der Erde um die Sonne, auf gleiche Periode zu bringen.

In welcher Weise die Sonne vermöge ihrer Strahlung die

---

[1]) Mit dem Barometer messen wir im allgemeinen nicht den aerostatischen, sondern den aerodynamischen Druck der Atmosphäre. Ein aufsteigender Luftstrom vergrössert nur die nach oben gerichteten Geschwindigkeiten der Molekeln, vermindert dagegen ihre nach unten gerichteten Geschwindigkeiten, so dass der nach unten ausgeübte Gasdruck abnimmt: das Barometer fällt und zeigt dadurch den aufsteigenden Luftstrom an, welcher sich durch sein Emporsteigen abkühlt und einen Teil seines Wasserdampfes als Regen verliert. Ein absteigender Luftstrom wirkt umgekehrt.

atmosphärischen Erscheinungen der Erde leitet und beherrscht, haben wir im vorigen Kapitel gesehen. Dass sie ihrem Stande, also den Tages- und Jahreszeiten entsprechend, periodische Schwankungen in allen jenen Erscheinungen hervorrufen muss, ist selbstverständlich. Ebenso einleuchtend ist es, dass jeder Einfluss, der die Strahlungsfähigkeit der Sonne bleibend oder vorübergehend verändert, welch letzteres bei den Sonnenflecken zweifellos der Fall ist, in entsprechenden Schwankungen unserer atmosphärischen Erscheinungen sich wiederspiegelt.

Der Mond.

Von dem Monde sehen wir im wesentlichen immer nur eine und dieselbe Seite; dennoch wissen wir, dass derselbe nahezu Kugelform besitzt, wie die Erde. Der Mond ist ein kalter, starrer Körper, welcher sich annähernd in Kreisen um die Erde, mit dieser um die Sonne bewegt. Eine von der Erde unabhängige Rotation um eine eigene durch seinen Mittelpunkt gehende Achse hat der Mond bekanntlich nicht. Wir wollen gleichwohl voraussetzen, der Mond sei früher eine glühend-flüssige Kugel gewesen, begabt mit einer von der Erde unabhängigen Rotation um eine eigene Achse, welche auf der Mondbahn nicht genau senkrecht stand; ausserdem habe er seine gegenwärtige Drehungsbewegung um die Erde besessen. Unsere späteren Entwickelungen werden diese Annahmen stützen. Wie ist der Mond in seinen jetzigen Zustand gekommen?

Durch Wärme- und Lichtausstrahlung hat sich der Mond abgekühlt. Wie die Erde hat auch er zuerst eine dünne Kruste, dann eine festere Rinde bekommen, welche sich bei weiterer Abkühlung faltete. Es bildeten sich Erhöhungen und Vertiefungen, Berge und Thäler, nach Maassgabe der die Rinde zusammenziehenden eigenen Schwerkraft des Mondes. Diese Schwerkraft ist auf der Mondoberfläche etwa 6mal kleiner als diejenige der Erde auf der Erdoberfläche, so dass die fest gewordene Mondrinde nicht mit ebensogrosser Gewalt den flüssigen Kern zusammenpresste, wie dies bei der Erdrinde unter entsprechenden Verhältnissen der Fall sein musste. Die ähnlich wie S. 86/88 für die Erde berechneten maximalen Drucke werden für den Mond etwa 36mal kleiner. Die Bildung von Bergen und Thälern war also auf dem Monde eine weniger wirksame.

Als „störender" Körper tritt aber für den Mond die Erde in Wirksamkeit, mit ihrer etwa 80mal grösseren Masse, als sie dem Monde selber zukommt. Es ist selbstverständlich, dass

dementsprechend die Ebbe- und Fluterscheinungen auf dem Monde ungemein grossartige werden mussten. Erschütterungen der festen Mondrinde und Vulkanausbrüche waren dort zahlreicher als auf der Erde. Die ausgeworfenen Massen wurden wegen der geringeren Schwerkraft des Mondes in grössere Höhen geschleudert; es bildeten sich weitläufigere Krater, als wir sie auf der Erde finden können. Die vielfachen Vulkanausbrüche deckten die durch Faltungen entstandenen Berge und Thäler zum Teil wieder zu. Wir erkennen fast nur noch die Krater selber mit ihren Erhöhungen und Vertiefungen.

Indessen ist noch eine andere sehr wirksame Fluterscheinung auf dem Monde zu berücksichtigen. Man denke sich den Vorgang der Erstarrung der Mondrinde analog dem für die Erdrinde behandelten, jedoch mit dem Unterschiede, dass die maximalen Drucke für den Mond etwa 36mal kleiner sind, als für die Erde. Weil die festgewordenen Massen überall da, wo die maximalen Drucke auftreten, zusammenbrechen, muss in der festen Rinde mit der Zeit eine Druckausgleichung zu stande kommen, welche dafür sorgt, dass jene maximalen Drucke überhaupt nirgends mehr erreicht werden. Eine genügend dicke Mondrinde wird also, wenn der Mond ungefähr aus denselben Substanzen besteht, wie die Erde, in sich selber stabil sein, um so mehr, als der Druck in den inneren Schichten, wo er am grössten ist, nach allen Seiten hin ziemlich den gleichen Betrag annehmen und einem hydrostatischen Drucke ähnlich werden wird. Hydrostatische Drucke können aber alle Substanzen bis zu unbegrenzten Beträgen aushalten.

Ist die Mondrinde in solcher Dicke erstarrt, dass sie in sich selber stabil ist und somit auf den glühend-flüssigen Mondkern keinen Druck mehr ausübt, so steht der Mondkern nur noch unter dem Einflusse seiner eigenen Gravitations- und Zentrifugalkräfte, der Anziehungskraft der Erde und derjenigen der Sonne. Nach Maassgabe dieser Kräfte wird er seine Kugelgestalt (bezw. Rotationsellipsoid) anfänglich noch zu bewahren suchen, im übrigen aber, wenn sein Volumen durch Abkühlung mehr und mehr abnimmt, nicht frei in der fest gewordenen Mondrinde schweben, sondern sie an einer oder an einigen Stellen der inneren Oberfläche berühren. Diese Stellen liegen bei starker Rotationsbewegung in der äquatorialen Zone; ausserdem ent-

sprechen sie aber besonders der stärksten von aussen auf den Mondkern wirkenden Kraft, also der Erdanziehung. Je mehr nun der glühend-flüssige Mondkern an Masse und Volumen abnimmt, um so mehr wird er seine Kugelgestalt aufgeben, an seinen Polen von der Mondrinde sich ablösen, dort also Hohlräume entstehen lassen und sich an der äquatorialen Zone der Mondrinde anlagern, hauptsächlich aber an jenen beiden Stellen, welche der Richtung der stärksten Erdanziehung entsprechen. Er wird also der Reihe nach verschiedene Formen annehmen, wie sie beispielsweise in der Fig. 8, *a* bis *d*, angedeutet sind, in welcher die eingezeichneten Durchmesser gegen die Erde hin weisen.

Befindet sich nun in der festen Mondrinde irgend eine Spalte,

a *b* *c* *d*

Fig. 8.

eine Oeffnung, etwa von einem Vulkan herrührend, so wird die durch die starke Anziehungskraft der Erde im flüssigen Mondinneren hervorgebrachte Flutwirkung dadurch erkennbar werden, dass die glühende Flüssigkeit — wenn jene Oeffnung etwa in der Richtung Mond-Erde oder umgekehrt liegt — aus der Oeffnung herausgezogen wird, in um so grösserer Menge, je langsamer der Mond um seine Achse rotiert. Die glühende Masse breitet sich auf der die Oeffnung umgebenden Mondoberfläche aus, erstarrt am Rande; ihr flüssig gebliebener Teil fliesst nach einer Viertelsdrehung des Mondes durch dessen Schwerkraft getrieben wieder zurück. Von jeder Vulkanöffnung, von jeder Spalte der den Mondäquator enthaltenden Zone aus kommt ein radiales Hin- und Herfliessen glühender Massen zu stande, deren Rand sich stärker abkühlt, als die zentralen Teile. Dadurch entstehen ringförmige Wälle und zuletzt Ringgebirge, deren Innenraum, wie ein See, mit der glühend-flüssigen Masse ausgefüllt ist. Aehnliche Erscheinungen, wenn auch nicht überall gleich stark, müssen sich zeitweise bei fast allen Vulkanöffnungen und Spalten

der ganzen Mondrinde ergeben, besonders wenn die Rotationsachse des Mondes schief zur Mondbahn gerichtet ist.

Die starken Fluterscheinungen gehen nur so lange vor sich, als sich eine genügende Menge glühend-flüssiger Masse im Mondinneren befindet; nimmt diese ab, teils durch Erstarrung der auf die Mondoberfläche ausgelaufenen Flüssigkeit, teils durch Erstarrung derselben im Mondinneren, so wird die Flutwirkung immer schwächer. Infolge der eigenen Schwerkraft des Mondes fliesst der letzte Rest der glühenden Flüssigkeit aus dem Ringgebirge schliesslich vollständig ab, zieht sich in das Mondinnere zurück. Das Ringgebirge allein bleibt übrig.

Die auf dem Monde in solcher Heftigkeit auftretenden Flutbewegungen des flüssigen Inneren müssen einen ganz bedeutenden Widerstand gegen die Rotationsbewegung hervorgerufen, eine ausserordentlich grosse Reibung verursacht haben, hauptsächlich bei dem Starrwerden der letzten Flüssigkeitsmengen (Fig. 8 *c, d*). Wir brauchen uns also nicht zu verwundern, wenn der entsprechende Widerstand eine Verminderung der Rotationsgeschwindigkeit des Mondes zur Folge hatte; wenn die Rotation vermöge der zweifellos nicht völlig gleichmässig zentrischen Massenanordnung im Monde in oscillatorische Drehungen überging, welche schliesslich zu schwach pendelnden Bewegungen des Mondes führten, von denen vielleicht jetzt noch ein kleiner Rest vorhanden ist. Uebrigens ist es weder notwendig noch wahrscheinlich, dass die gegenwärtige Achse des Mondes, welche für seine Librationen maassgebend ist, schon die ursprüngliche Rotationsachse gewesen sei; jene Achse wird vielmehr wesentlich bedingt durch die Art der exzentrischen Massenverteilung, welche sogar zur Zeit des Erstarrens der letzten Flüssigkeitsreste im Monde noch merklich geändert werden konnte.

Wenn einst Meere auf dem Monde vorhanden waren, mussten sie in analoger Weise die Fluterscheinungen grossartiger zeigen, als wir solche auf der Erde beobachten. Besass der Mond eine Atmosphäre, so verursachte die Erde auch in ihr ungeheure Flutwellen. Alle diese Flutwellenbewegungen suchten dem Monde seine selbständige Rotationsbewegung um eine eigene Achse in gleicher Weise zu nehmen; sie arbeiteten darauf hin, dass der Mond uns immer die gleiche Seite zukehre.

Die Frage, ob der Mond gegenwärtig noch eine Atmosphäre

besitze, muss, wie es scheint, mit Nein beantwortet werden. Wenigstens beobachtet man auf und an dem Monde keinerlei Vorgänge, welche auf das Vorhandensein einer Atmosphäre schliessen liessen. Um die Verhältnisse klarer zu übersehen, wollen wir untersuchen, wie unsere Gase auf dem Monde sich verhalten würden, wenn derselbe gar keine eigene Wärme besässe, wenn er nur auf einer Seite die Sonnenstrahlen aufnähme, auf der anderen Seite Wärme in das Weltall ausstrahlte.

Ein fester Weltkörper, welcher keine wesentliche Wärmeleitungsfähigkeit besitzt und welcher nur einseitig von der Sonne bestrahlt wird, muss auf dieser Seite so lange eine Temperatursteigerung seiner bestrahlten Oberfläche erfahren, bis die Energieausstrahlung der letzteren — in Form von Licht und Wärme — gleich ihrer Energieaufnahme geworden ist. Die der Sonne entgegengesetzte Seite erhält aber von derselben gar keine Energie, ausgenommen die durch den Weltkörper hindurch geleitete Wärme, welche wir als unwesentlich annehmen wollen. Hat diese Seite eine eigene Wärme, so strahlt sie dieselbe ins Weltall aus; umgekehrt erhält sie vom Weltall Energie zugestrahlt. Weil aber der Betrag dieser letzteren Energie erfahrungsgemäss ein sehr geringer ist, kühlt sich die von der Sonne abgewandte Seite des Weltkörpers ab, nahezu bis auf die Temperatur des Weltalls, — 273° C. oder 0° absolut. Bei dieser Temperatur existiert kein gasförmiger Körper als solcher; alle Gase verflüssigen sich und werden zu festen Körpern. Wenn somit auf derjenigen Seite des betrachteten Weltkörpers, welche der Sonne zugekehrt ist und welche bei genügender Sonnennähe eine so hohe Temperatur besitzt, dass Substanzen auf ihr in gasförmigem Zustande bestehen bleiben könnten, solche Gase einmal vorhanden wären, so würden sie nach der kinetischen Gastheorie sich ausbreiten, um den Weltkörper herumfliessen, dann aber an den kalten Stellen desselben sich niederschlagen, flüssig und fest werden. Die sich bildende Atmosphäre würde also in kürzester Zeit wieder verschwinden, wenn sie nicht durch ihren Wärmeinhalt die beschattete kalte Seite des Weltkörpers genügend zu erwärmen vermöchte.

Bei dem Monde sind die Verhältnisse nicht ganz so einfach, in gewisser Beziehung aber ähnlich. Der Mond setzt bei einem einmaligen Umlauf um die Erde abwechselnd alle Teile seiner

Oberfläche einmal den Sonnenstrahlen aus; die Temperaturdifferenzen der von der Sonne beleuchteten und der nicht beleuchteten Oberfläche sind deshalb weniger gross, als ohne Rotation. Weil aber jede Stelle der Mondoberfläche etwa 14 Tage lang ohne zugestrahlte Sonnenwärme bleibt, dagegen stets Wärme in das Weltall ausstrahlt, so wird ihre Temperatur, wenn der Mond keine Eigenwärme mehr besitzt, vorübergehend der absoluten Temperatur Null doch stark sich nähern. Befindet sich auf dem Monde nur eine einzige Stelle, etwa in seinem Inneren, zum Beispiel ein durch die vielen Vulkanausbrüche und Flutergiessungen des flüssigen Mondinneren entstandener genügend grosser Hohlraum, welcher bleibend eine Temperatur von 0° C. oder weniger besitzt, so muss mit der Zeit aller Wasserdampf dort sich niedergeschlagen haben und zu Eis erstarrt sein. Ist auf dem Monde eine Stelle vorhanden, deren Temperatur etwa — 200° C. beträgt, so wird auch Luft dort zu Flüssigkeit sich kondensieren und dann fest werden. Giebt es noch entsprechend kältere Stellen auf dem Monde, so kann endlich auch der Wasserstoff als Gas nicht mehr bestehen bleiben.

Weil der Mond eine gewisse Wärmeleitungsfähigkeit doch besitzt, ist es wahrscheinlich, dass seine kältesten Stellen auf der Mondoberfläche selber liegen. Es ist also denkbar, dass die Gase, welche nur bei den tiefsten Temperaturen flüssig und fest werden, insbesondere Luft und Wasserstoff, sich nicht in das Mondinnere zurückziehen können; dass sie vielmehr auf demjenigen Teile der Mondoberfläche als feste Körper sich ablagern, welcher von der Sonne abgewandt ist und die grösste Kälte besitzt. Diese Stelle wandert aber zugleich mit der Drehung des Mondes um die Erde: es sind jeweilen ungefähr diejenigen Flächenteile, welche von der unbeleuchteten Mondseite auf die beleuchtete Seite überzugehen im Begriffe sind [1]). Hat sich auf diesen Flächen fest gewordene Luft angelagert, so wird sie, sobald sie in den Bereich der Sonnenstrahlen gelangt, rasch verdampfen, bei der Abwesenheit eines Gasdruckes direkt aus dem festen in den gasförmigen Aggregatzustand übergehen (S. 43); bald wird sie aber auf den kältesten Stellen der Mondoberfläche,

---

[1]) Die von der Erde durch Strahlung auf den Mond übergegangene Wärme ist noch von Einfluss auf die Lage jener Stelle.

also auf den unmittelbar benachbarten noch unbeleuchteten Flächenstücken sich neuerdings niederschlagen. Ist mit dem direkten Uebergange aus dem festen in den gasförmigen Aggregatzustand eine wesentliche Elektrizitätserregung verbunden, was nach unseren Entwickelungen (S. 70) nicht ausgeschlossen erscheint, oder wird Elektrizität erregt durch Reibung der entstandenen Dämpfe an der Mondoberfläche, so werden diese Dämpfe oder Gase weniger leicht zu einer Atmosphäre sich entwickeln können: denn sie werden ausserhalb der Erregungsflächen vom Monde elektrisch angezogen, werden sich also rascher an den kältesten Stellen kondensieren, als ohne Elektrizitätsentwickelung.

Demnach ist die Wahrnehmbarkeit folgender Erscheinungen auf der Mondoberfläche, welche unseres Wissens nie beobachtet worden sind, doch nicht ganz ausgeschlossen:

1. Eine Verdampfung festgewordener Luft oder anderer Substanzen an den eben in die Sonnenbeleuchtung eintretenden Flächen unmittelbar neben der Selbstschattengrenze des Mondes. Damit verbunden entweder
2. schwache elektrische Entladungen in der Nähe jener Schattengrenze — vielleicht spektralanalytisch nachweisbar —, wenn die gebildeten Dämpfe wolkenartig zusammenhängend bleiben, sich nicht wesentlich ausdehnen, oder
3. grössere Ausdehnung jener Dämpfe, vielleicht sogar Existenz einer Atmosphäre, welche indessen zweifellos nur eine äusserst geringe Dichte besitzen kann.

Sind diese Erscheinungen nicht nur nicht wahrnehmbar, sondern überhaupt nicht vorhanden, so muss die Temperatur des Mondinneren selber auf so grosse Kälte herabgesunken sein, dass dort auch die Gase zu festen Körpern erstarrt sind. Denn eine Atmosphäre hat der Mond seiner Zeit besessen, wie später sich zeigen wird.

Endlich können auf der Mondoberfläche für uns wahrnehmbare Veränderungen noch verursacht werden durch sehr grosse Meteoriten, welche, in den Anziehungsbereich der Erde gelangt, an ihr vorbeifliegen und auf die uns zugekehrte Seite des Mondes sich stürzen. Ganz besonders wird dies der Fall sein, wenn solche Meteoriten auf der Mondoberfläche in poröse oder sonst

wenig zusammenhängende Massen einschlagen, welche sie nach allen Seiten, wegen der geringen Schwerkraft des Mondes, weit auseinanderwerfen. Die Meteoriten können relativ zum Monde die ungeheuren Geschwindigkeiten von etwa 60 Kilometern in der Sekunde besitzen, also den Weg, welchen ein gewöhnlicher Schnellzug in einer Stunde durchfährt, in einer einzigen Sekunde durchfliegen; dieselben müssen demnach, weil ihre Geschwindigkeiten durch keine Atmosphäre abgeschwächt werden, auf der Mondoberfläche ganz grossartige Verwüstungen anrichten.

Die Sonne.

Die Sonne sendet uns durch den Aether ihre Lichtstrahlen zu, welche zum Teil von unserer Atmosphäre und von der Erdoberfläche absorbiert, zum Teil wieder in den Weltraum reflektiert werden. Elektrizität wird von der Sonne nicht in merklicher Menge der Erde zugestrahlt. Die elektrischen Erscheinungen auf der Erde erkannten wir vielmehr als dieser letzteren allein angehörig; sie werden aber beeinflusst von der Sonne, ändern sich mit jeder Ursache, welche die Sonnenstrahlung eine Aenderung erleiden lässt.

Der starken Lichtausstrahlung entsprechend muss auf der Sonne eine sehr hohe Temperatur herrschen. Die Schätzungen dieser Temperatur gehen jedoch weit auseinander; denn Secchi nahm für dieselbe mehrere Millionen Grade an, v. Helmholtz berechnete aus seiner Kontraktionstheorie eine Temperatur von 27 Millionen Graden, während Violle glaubte, die Sonnentemperatur könne 2000 Grade wenig übersteigen, so dass wir auf der Erde noch höhere Temperaturen zu erzeugen im stande wären. Auch manche Zwischenwerte sind nach verschiedenen Methoden für diese Temperatur berechnet worden.

Alle diese Werte sind in gewissem Sinne richtig. Wir dürfen sogar noch weiter gehen und sagen: die **Temperatur an der Sonnenoberfläche** ist Null Grad, und zwar ist sie nicht die Temperatur des schmelzenden Eises, sondern Null Grad nach absolutem Temperaturmaass, also diejenige Temperatur, bei welcher die Gase, die unsere atmosphärische Luft bilden, sogar der Wasserstoff, überhaupt alle wägbaren Substanzen vollständig erstarrt sind. Diesen Schluss müssen wir unbedingt ziehen aus unserer Definition der Temperatur. Denn die Sonne besitzt eine Atmosphäre, sie hat an ihrer Oberfläche gasförmige Körper. Die Molekeln dieser Gase bewegen sich an einer gewissen Stelle der Sonnenatmosphäre mit bestimmten mittleren

Geschwindigkeiten relativ zu einander, und diejenigen Molekeln, welche sich vom Sonnenzentrum entfernen, büssen an Geschwindigkeit solange ein, bis sie nicht mehr weiter von demselben wegfliegen können. Sie langen damit an der äussersten Grenze der Sonnenatmosphäre an, wo alle Molekeln nicht nur in radialer, sondern auch in tangentialer Richtung, relativ zu ihren Nachbarmolekeln, keine Geschwindigkeiten mehr besitzen. Bezeichnen wir diese Begrenzungsfläche der Sonnenkugel als Sonnenoberfläche, so ist die absolute Temperatur der Sonnenoberfläche in der That Null Grad.

Ein fester Körper, von aussen gegen die Sonne sich bewegend und eben in die Sonnenoberfläche eintretend, wird aber nicht zu — 273 ° C. erstarrt, sondern etwa in glühendem bezw. in gasförmigem Zustande dort anlangen. Aus der unserer Erde durch den Aether zugestrahlten Sonnenwärme können wir nämlich berechnen, wie viel mehr Wärme jenem Körper unmittelbar vor seinem Eintritte in die Sonnenoberfläche als Aetherwellenbewegung zugestrahlt wird. Es ist dies in runder Zahl eine mehr als 46000mal grössere Wärme, als diejenige, welche einem gleich grossen Stücke der Erdoberfläche mitgeteilt wird. Jener Körper würde demnach in kürzester Zeit glühend werden, unter Umständen schmelzen und verdampfen [1]).

Es ist eben ein grosser Unterschied in der Wirkungsweise der ganze Körper oder einzelne Molekeln beeinflussenden Aetherwellenbewegungen. Körper fangen solche Wellenbewegungen auf, ihre Molekeln werden durch dieselben mehr oder weniger zu Wärmebewegungen gezwungen, die Körper erwärmen sich. Treffen dagegen die Aetherwellenbewegungen, welche in Körpern Wärme erzeugen, auf eine einzelne freifliegende Molekel, so wird diese während jeder ganzen Aetherschwingung zwei Drucke nach entgegengesetzten Richtungen erfahren, während sie im übrigen ziemlich unbehelligt in ihrer Bahn mit gleich bleibender mittlerer Geschwindigkeit weiter fliegt. Nur bei entsprechend kräftigen Wirkungen wird die Molekel aus der geradlinigen Bahn in eine

---

[1]) Der Körper erhält nur auf seiner einen Hälfte die ihm zugestrahlte Sonnenwärme; anderseits strahlt er aber nach Maassgabe seiner Erhitzung Energie nach allen Richtungen in den Weltraum aus, und nur die Differenz der beiden entsprechenden Wärmemengen kommt für seine Temperaturerhöhung in Betracht.

mehr oder weniger der Sinuslinie ähnliche Bahn übergehen. Weil aber ihre fortschreitende Geschwindigkeit dadurch nicht wesentlich vermehrt werden kann, so wird auch die von dieser Geschwindigkeit abhängige Temperatur durch jene Aetherwellenbewegungen nicht merklich geändert.

Wenn ganze Körper in der Nähe der Sonnenoberfläche sich stark erhitzen, nur durch die Strahlung der Sonne allein, so werden auch Aggregate von 2, 3, 4 und mehr Molekeln durch jene Strahlung so viel Wärme aufnehmen, in so lebhaften Schwingungszustand übergehen, dass sie sich wieder auflösen in einzelne Molekeln. Trotz der geringen fortschreitenden Geschwindigkeiten, welche die Molekeln in der Sonnenoberfläche inne haben, werden sich dieselben also doch nicht zusammenballen können, wie etwa vorübergehend in der äussersten Schichte der Erdatmosphäre; im Gegenteil: nicht nur Molekelaggregate werden aufgelöst, sondern der Bestand mehratomiger Molekeln selber wird sogar gefährdet sein, vermöge der ausserordentlich kräftigen Sonnenstrahlung, in welcher nahezu alle möglichen Schwingungsbewegungen vertreten sind. Denn wegen der Resonanz werden die Molekeln diejenigen Aetherwellenbewegungen, welche den ihren Aetherhüllen und den ihren Atomen zukommenden Schwingungsbewegungen entsprechen, stärker absorbieren, als alle übrigen Bewegungen; ihre Atome werden immer kräftiger in Mitschwingungen versetzt, und die Affinität zwischen denselben wird immer geringer, so lange, bis sie sich voneinander trennen, bis die Molekeln sich dissociieren. Man muss also die Ueberzeugung gewinnen, dass wegen der ungeheuren Strahlung auf der Sonne alle Substanzen dissociiert, dass nur einfache Atome, also einatomige Molekeln in derselben zu finden sind.

Die Sonnenatmosphäre hat mit unserer irdischen Atmosphäre darin Aehnlichkeit, dass an ihrer Oberfläche gleichfalls die absolute Temperatur Null Grad herrscht, und dass die Molekulargeschwindigkeit zunimmt, die Temperatur um so mehr steigt, je tiefer man in der Atmosphäre gegen das Innere, gegen das Zentrum vordringt. Diese Zunahme der Molekulargeschwindigkeit, welche nach der kinetischen Gastheorie die Temperaturzunahme mit der Tiefe bedingt, berechnen wir auch für die Sonne nach dem auf ihre Verhältnisse angewandten Fallgesetze. Bei der Erde führte diese Rechnung zu einem zu kleinen Er-

gebnisse wegen der atmosphärischen Elektrizität. Wirkungen solcher Art haben wir nun in der Sonne nicht vorauszusetzen: denn, wie wir soeben hervorgehoben haben, sind alle Substanzen in der Sonne vollständig dissociiert. An einen flüssigen oder festen Sonnenkern ist nicht zu denken. Dann kann aber auch keine Potentialsteigerung nach Art derjenigen unserer atmosphärischen Elektrizität auf der Sonne zu stande kommen. Allerdings erhalten wir schon bei der Berührung verschiedenartiger Atome Ladungen derselben als Berührungselektrizität. Im gasförmigen Aggregatzustande ziehen aber die geladenen Atome andere entgegengesetzt geladene mit Erfolg an und gleichen mit ihnen ihre Elektrizitäten immer wieder aus, während sie umgekehrt die gleichartig geladenen Atome abstossen, so dass eine wesentliche Potentialsteigerung nicht denkbar ist. Nur eine Quelle der Elektrizität muss in der Sonne vorhanden sein: die heftige hin- und herzuckende Bewegung der wägbaren Atome, welche wir als Wärme definierten; denn sie giebt infolge der Zusammenstösse nicht nur zu regelmässigen Schwingungen, sondern auch zu Aenderungen der unregelmässig zitternden Bewegungen der Aetherhüllen Veranlassung; sie vermehrt aber anderseits die hin- und herzuckende Bewegung der freien Aetheratome selber, vermehrt unmittelbar den Vorrat an elektrischer Energie im freien Aether, analog wie ein im Gase bewegter Körper das Gas erwärmt.

Wir wollen also eine Schätzung der Sonnentemperaturen vornehmen, die mit der Annäherung von der Sonnenoberfläche bis in das Sonnenzentrum immer grössere Werte erhalten, auf Grund unserer Anschauungen, welche der kinetischen Gastheorie entsprechen, und mit Hülfe der Fallgesetze. Denn nur auf diesem Wege können wir über die Verhältnisse, welche im Inneren der Sonne herrschen, wenigstens einigermaassen Aufschluss erhalten. Die oben zuletzt erwähnte Ursache einer Elektrizitätsentwickelung in der Sonne wollen wir dabei unberücksichtigt lassen.

Die mittlere Dichte der Sonne beträgt den vierten Teil der mittleren Dichte der Erde, und da der Wert 5,6 für die Erddichte gefunden wurde, so ist jene Sonnendichte etwa anderthalbmal so gross als die Dichte des Wassers. Weil in der Sonne, der Spektralanalyse zufolge, ungefähr die gleichen Substanzen

wie in der Erde vorkommen, weil aber anderseits eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür spricht, dass die schwersten Massen des Sonnensystems sich vorzugsweise im Zentrum desselben gelagert haben, so darf man den Schluss ziehen, es seien in der Sonne die schwereren Metalle doch stärker vertreten, als in der Erde. Nun lehrt zwar die kinetische Gastheorie, verschiedenartige Molekeln bleiben miteinander im Temperaturgleichgewichte, wenn sie gleiche kinetische Energien besitzen. Daher können gasförmige Substanzen ganz verschiedener Molekulargewichte in demselben Raume nebeneinander sich befinden und sogar, wenn sie getrennt voneinander in einen Raum gebracht werden, in kurzer Zeit durch Diffusion sich vollständig miteinander vermischen. Bei solchen Berechnungen und Versuchen ist aber die Wirkung der Schwerkraft nicht berücksichtigt. Von zwei verschiedenartigen Molekeln, welche auf der Oberfläche eines und desselben Weltkörpers gleiche Temperatur, also gleiche kinetische Energie besitzen, hat die schwerere Molekel vermöge ihrer grösseren Masse eine geringere fortschreitende Geschwindigkeit, als die leichtere. Es kann also die schwerere Molekel, wenn sie in aufsteigender Bewegung sich befindet, von dem Zentrum des Weltkörpers sich entfernt, keinen so grossen Abstand von jenem Zentrum erreichen, bis sie zur Ruhe kommt, wie die leichtere Molekel. Aus diesem Grunde werden die schwereren Molekeln in der Atmosphäre eines Weltkörpers sich stets tiefer zu lagern suchen, als die leichteren, wenn auch bei den sehr grossen Molekulargeschwindigkeiten die Diffusion kräftig eingreift und die verschiedenartigen Molekeln möglichst zu vermengen sucht.

Ganz analog verhält sich die Sache, wenn alle Molekeln dissociiert sind, wenn es sich nur um die einfachen Atome handelt. Die Atomgewichte sind dann das maassgebende. Wir werden also mit grosser Wahrscheinlichkeit annehmen können, in den äussersten Schichten der Sonnenkugel befinden sich vorwiegend Wasserstoffatome, in ihrem innersten Zentrum seien dagegen die schweren Atome, zum Beispiel diejenigen der Platinmetalle besonders stark vertreten.

Die Beschleunigung der Sonnenschwerkraft am Sonnenäquator ist etwa 27,6mal so gross als diejenige g der Erde auf der Erdoberfläche; mit der Entfernung vom Sonnenmittelpunkte

ändert sich die Schwere, und zwar ist sie in jedem Punkte proportional derjenigen Masse m, welche von einer mit der Sonnenkugel konzentrischen Kugelfläche durch den betreffenden Punkt eingeschlossen wird, umgekehrt proportional dem Quadrate dieses Kugelradius, das heisst, des Abstandes r dieses Punktes vom Kugelmittelpunkte; also ändert sich die Schwere proportional mit m/r^2.

Um nicht zu hohe Werte für die gesuchten Sonnentemperaturen zu erhalten, wollen wir annehmen, trotz der vielleicht grösseren Dichtezunahme mit der Annäherung an den Sonnenmittelpunkt sei doch nur der vierte Teil der Gesamtsonnenmasse in einer kleineren konzentrischen Kugel eingeschlossen, deren Radius die Hälfte des Sonnenradius beträgt, so dass nun die Schwere im halben Sonnenradius genau denselben Betrag annimmt, wie im Sonnenäquator. Diesen Wert der Schwere wollen wir für die ganze Annäherung einer Molekel vom Sonnenäquator bis in den halben Sonnenradius hinein als mittleren Wert der Schwere in die Rechnung einführen. Wir erhalten die Geschwindigkeit G einer von den äussersten Sonnenschichten, deren Radius R etwa 692 Millionen Meter beträgt, bis auf den halben Abstand R/2 vom Sonnenmittelpunkt fallenden Molekel aus dem Fallgesetze:

$$\frac{R}{2} = \frac{1}{2} \frac{G^2}{27{,}6\,g}$$

nämlich: $G^2 = 1874 . 10^8$, $G = 433\,000$ Meter in der Sekunde.

Nach unserer Definition verhalten sich die absoluten Temperaturen zu einander wie die Quadrate der fortschreitenden Geschwindigkeiten der betreffenden gleichartigen Molekeln. Für Luft bei 0^0 C. oder 273^0 absoluter Temperatur ist: $G = 485$ Meter, $G^2 = 235\,000$, also die gesuchte Temperatur, wenn die fallende Molekel eine Luftmolekel ist:

$$T = \frac{1874 . 10^8 . 273}{235 . 10^3} = 217 \text{ Millionen Grade.}$$

Die Temperatur muss sich weiter gegen den Sonnenmittelpunkt hin noch erhöhen.

Wenn wir in ganz ähnlicher Weise, jedoch nur mit einer gleichmässigen Verteilung der Masse in der Sonne rechnen, so müssen wir die Aenderung der Schwere mit dem Abstande vom

Sonnenmittelpunkte berücksichtigen, und es ergiebt sich die Molekulargeschwindigkeit im Sonnenzentrum aus:

$$G^2 = \frac{27{,}6 \cdot g}{R} \int_R^0 2r \, dr$$

gleich wie oben im halben Radius, also G = 433 Kilometer in der Sekunde. Unter diesen Voraussetzungen würde also die hohe **Sonnentemperatur von 217 Millionen Graden** erst in ihrem Mittelpunkt anzutreffen sein.

Wir dürfen nach unseren Temperaturschätzungen vermuten, dass kein Teil der Sonne bleibend im flüssigen oder gar im festen Aggregatzustande sich befinde; bei diesen enormen Temperaturen, bei den ungeheuren Molekulargeschwindigkeiten von 433 Kilometern in einer Sekunde werden auch die am schwersten flüchtigen Substanzen, die Platinmetalle, die Kohle u. s. w., nicht nur verdampfen, sondern es wird diese Temperatur über ihrer kritischen liegen, so dass eine Verflüssigung auch jener Metalle gar nicht mehr möglich ist. Dass zum Beispiel Platin bei so hohen Temperaturen nicht mehr im flüssigen Aggregatzustande sich befinden wird, kann man überdies aus seinem Wärmeausdehnungskoeffizienten schliessen. Denn wenn etwa dieser Ausdehnungskoeffizient für das ganze Temperaturintervall annähernd konstant bliebe, so würde doch eine Temperaturerhöhung um 2 Millionen Grade das Platin schon so stark ausdehnen, dass es kaum noch die doppelte Dichte der atmosphärischen Luft besässe.

Von jener hohen Temperatur des Sonnenmittelpunktes an nimmt die Temperatur nach aussen stetig ab. In der äussersten Schichte der Sonnenkugel ist dieselbe Null Grad absolut, und nur um so viel tiefer, als der millionste Teil des Sonnendurchmessers ausmacht, herrscht bereits Glühtemperatur. Diejenige Kugeloberfläche, an welcher die Temperatur eine so hohe ist, dass dort alle Substanzen Licht auszustrahlen beginnen, dürfte die von uns unter allen Umständen wahrgenommene scheinbare Sonnenoberfläche sein [1]). Wir erhalten aber nicht nur diejenigen Licht-

---

[1]) Wegen der Strahlenbrechung in den äusseren gasförmigen Sonnenschichten ist der wirkliche Durchmesser der Sonnenkugel, so weit sie leuchtend ist, nur unmerklich kleiner, als ihn unsere Messungen erscheinen lassen.

wellenbewegungen, welche von dieser Oberfläche selber ausgehen, sondern auch eine unermessliche Zahl von solchen Wellenbewegungen, welche aus der Tiefe der Sonne hervorkommen und schon dickere Schichten der Sonnenatmosphäre durchsetzt haben.

Obgleich die Sonnenkugel als ein im Gaszustande befindlicher Weltkörper aufzufassen ist, sind doch die Molekeln derselben, wie aus der Sonnendichte gefolgert werden muss, einander so nahe, dass die Stossdauer der Molekeln eine verhältnismässig lange, das Freifliegen derselben ein sehr kurz dauerndes ist. Aus diesem Grunde und weil die verschiedenartigsten Substanzen in der Sonne vorhanden sind, haben wir im reinen Sonnenspektrum ungefähr so viele Banden zu erwarten (S. 55), wie bei einem ebenso dichten lichtausstrahlenden glühenden festen oder flüssigen Körper, das heisst wir erhalten ein kontinuierliches Spektrum. In diesem Spektrum würden sich die hellen Spektrallinien der Sonnengase sämtlich erkennen lassen, wenn nicht die Temperatur der Sonnenkugel nach aussen so sehr abfiele, an ihrer Oberfläche sogar Null Grad betrüge. Demnach ist jede Sonnenschichte, welche irgend ein Element in glühendem, lichtausstrahlendem Zustande enthält, umgeben von einer kälteren Sonnenschichte. In dieser glüht jenes Element nicht mehr oder es glüht weniger; in ihr absorbiert es also nach Kirchhoffs Satz Licht von derselben Wellenlänge, welche es ausstrahlen kann. Daher entsteht eine Umkehrung der Gasspektra, und die Fraunhoferschen Linien gelangen zur Wahrnehmung.

Vermöge dieser Umkehrung der Gasspektra können wir an den äusseren Schichten der Sonne manche Untersuchungen anstellen. Ein reelles Sonnenbild können wir Punkt für Punkt mit dem Spektralapparate oder mit dem S. 58 beschriebenen Prisma untersuchen und aus der Gleichheit oder Ungleichheit der Absorptionslinien des Sonnenspektrums, aus einem allfälligen Wechsel ihrer Intensität, Schlüsse ziehen auf das gleichmässige oder ungleichmässige Vorhandensein der entsprechenden Substanzen an verschiedenen Stellen der oberflächlichen Sonnenschichten.

Im Inneren einer Sonnenkugel, welche die von uns erläuterte Beschaffenheit besitzt, werden zwar wesentliche Konvektionsströme selten ihren Ursprung nehmen, wohl aber in der Sonnenoberfläche, infolge der Licht- und Wärmeausstrahlung; durch

diese kühlen sich die Gasmassen der äussersten Sonnenschichten ab, sie werden schwerer als die unter ihnen befindlichen Massen, sinken gegen den Sonnenmittelpunkt hinab und lassen die wärmeren Gasmassen aufsteigen. So entstehen Konvektionsströme über die ganze Sonnenoberfläche hin, von höheren zu tieferen Schichten, und diesen Strömungen entsprechend wird das aus dem Sonneninneren hervordringende Licht ungleiche Brechungen erfahren, Schlieren erkennen lassen; darauf dürften die Granulationen der Sonnenoberfläche zurückzuführen sein.

Die Sonnenflecken scheinen auf ausserhalb der Sonne liegenden Ursachen zu beruhen; dafür spricht jedenfalls ihre etwa 11jährige Periode grösster Häufigkeit. Auch die Protuberanzen möchten wir in diesem Sinne deuten. Stürzen nämlich Meteoriten aus dem Weltraume schnurstracks in die Sonne hinein, an deren Oberfläche sie mit Maximalgeschwindigkeiten von über 612 Kilometern in der Sekunde ankommen können, so werden sie beim Einstürzen wegen ihrer ungeheuren Geschwindigkeit eine lange luftleere Bahn hinter sich ziehen, indem sie die Sonnenmaterie vor sich herpressen und zur Seite schieben. Die neben der Bahn befindliche Sonnenmaterie dringt aber möglichst bald mit grosser Gewalt in die leere Bahn ein und füllt sie nicht nur aus, sondern stürzt in der Bahnrichtung aus derselben heraus, über die Sonnenoberfläche empor, mit einer Geschwindigkeit, welche derjenigen der Meteoriten an Grösse vergleichbar ist. Solche Protuberanzen zeigen sich gelegentlich an allen Stellen der Sonnenoberfläche, weil jene Meteoriten von allen Seiten mit ungefähr gleich grosser Wahrscheinlichkeit gegen die Sonne sich bewegen. Die Protuberanzenrichtungen sind im allgemeinen geneigt zum Sonnenradius, weil die Bahnen jener Meteoriten gewöhnlich nicht geradlinige genau auf den Sonnenmittelpunkt zeigende sind, sondern elliptische, parabolische oder sogar hyperbolische.

Nicht alle Meteoriten stürzen sich unmittelbar in die Sonne. Viele derselben, besonders die in der Ekliptik sich bewegenden, werden durch die Planeten aus ihren Bahnen abgelenkt. Manche umkreisen schliesslich, wie später sich zeigen wird, selber die Sonne in planetarischen Bahnen, in der Ekliptik, und sie laufen erst nach sehr langer Zeit in die Sonne ein. Solche Meteoriten werden jedenfalls zum Teil, vielleicht sogar vollständig gasförmig, bis

sie die Sonnenoberfläche wirklich erreicht haben. Die gebildeten Dämpfe breiten sich wegen der dort herrschenden sehr geringen Drucke ganz bedeutend aus. Sie bewegen sich bei ihrem Einlaufen in die Sonnenoberfläche viel rascher als letztere. Daher wird der Sonnenäquator durch die tangential einlaufenden Meteoriten in schnellere Umdrehungsgeschwindigkeit versetzt, als die übrigen Teile der Sonnenkugel sie besitzen. Sinken nun jene Dämpfe in tiefere Sonnenschichten ein, so wird ihnen ihre fortschreitende Geschwindigkeit immer mehr genommen und in Wärme umgesetzt. Während sie anfangs kälter und schwerer sein mussten, als die Substanzen derjenigen Sonnenschichten, in welchen sie sich befanden, während sie also zuerst noch Licht absorbieren mussten und uns als dunkle Sonnenflecken erschienen, werden sie nun auf die höchsten Temperaturen gebracht und dissociiert, so weit solches nicht früher schon geschehen ist. Diese Umwandlungen werden uns hauptsächlich an den Rändern der Dampfmassen sichtbar. Gas- und Dampfströmungen gehen von den Fleckenrändern nach allen Seiten aus. Sie bilden die Penumbra, welche, wegen der ungleichen Gasdichten in jenen Strömungen, schlierenartige Streifen in dem von den tieferen Sonnenschichten ausgesandten Lichte erkennen lässt, die wir Sonnenfackeln nennen.

In der That treten die Sonnenflecken vorzugsweise in der Nähe des Sonnenäquators auf, und sie vollenden mit diesem eine Rotation in wesentlich kürzerer Zeit, als sie für höhere Breiten der Sonne gefunden worden ist. Die 11 jährige Periode der Sonnenflecken erklärt sich durch eine entsprechende Periode grosser Meteoritenschwärme, welche uns freilich gar nicht als solche wahrnehmbar zu sein brauchen, wenn sie unsere Erdbahn niemals kreuzen.

Die Kometen.

Als die merkwürdigsten Gebilde des Sonnensystems bezeichnet man gewöhnlich die Kometen. Dieselben sind in der That noch mit zahlreichen Rätseln behaftet, teils weil so selten grosse Kometen sichtbar sind, teils weil fast jeder Komet wieder andere Eigenschaften erkennen lässt.

Man unterscheidet zweierlei Arten von Kometen: erstens die kleineren periodischen Kometen, welche unserem Sonnensysteme ein für allemal angehören, welche ähnlich wie die Planeten um die Sonne sich bewegen, jedoch nicht nahezu in Kreisen, sondern in Ellipsen von mehr oder weniger grosser Exzentrizität; zweitens die grossen nur einmal erscheinenden Kometen, deren Bahnen als Parabeln oder als Hyperbeln berechnet worden sind. Erstere können gewöhnlich nur mit den Teleskopen beobachtet werden, während letztere hie und da dem freien Auge sichtbar sind, oft sogar die wunderbarsten und prachtvollsten Erscheinungen des ganzen Himmels darbieten.

Ueber die Natur der kleinen teleskopischen und periodischen Kometen ist man gegenwärtig ziemlich einig: man hält dieselben für Ansammlungen kleiner Meteoriten, welche sich zu einem Schwarme, ohne festen Zusammenhalt, vereinigt haben und welche gemeinsam ihre Bahn um die Sonne beschreiben.

Darüber, dass auch die grossen Kometen teilweise Meteoriten mit sich führen, besteht wohl gleichfalls kein Zweifel mehr. Was aber bedingt die Mannigfaltigkeit ihrer Erscheinungen, was bedingt die grossen charakteristischen Verschiedenheiten, welche sie den kleinen teleskopischen Kometen gegenüber zeigen?

Wir untersuchen die Vorgänge, welche sich in einem Meteoritenschwarm abspielen müssen, wenn er aus sehr grosser Entfernung gegen die Sonne sich bewegt und in ihre unmittelbare Nähe gelangt. Zuerst werden wir aber die Frage erörtern, warum sich nicht diese kleinen Körper so stark angezogen haben,

dass sie sich mit grosser Gewalt ineinander stürzten, glühend wurden und zu einem einzigen Körper sich vereinigten?

Am zweckmässigsten vergleichen wir die Gravitationswirkungen solcher Körper aufeinander mit den auf der Erde beobachteten Wirkungen der Schwerkraft. Wir berechnen die Endgeschwindigkeit, mit welcher ein nur von der Erde angezogener kleiner Körper, ohne Anfangsgeschwindigkeit aus unendlicher Ferne von ihr herbeigezogen, auf ihrer Oberfläche anlangen müsste. Die Beschleunigung der Schwere ist auf der Erdoberfläche 9,81 Meter; sie ist um so kleiner, je grösseren Abstand der angezogene Körper von der Erde hat, ist umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes desselben von dem Erdmittelpunkte. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes finden wir als Endgeschwindigkeit jenes angezogenen Körpers auf der Erdoberfläche etwa 11 Kilometer in der Sekunde, eine Geschwindigkeit, welche allerdings beim Zusammenstürzen eine ausserordentlich grosse Temperatursteigerung an der getroffenen Stelle im Gefolge hätte.

Nun ist aber die Masse eines Meteorits eine fast unvergleichlich viel geringere als diejenige der Erde. Ein Meteorit von einem millionenmal kleineren Durchmesser, als die Erde ihn besitzt, ein Weltkörper also von etwa 12,8 Meter Durchmesser (so hoch wie ein zwei- bis dreistöckiges Haus), hat schon eine trillionenmal geringere Masse als die Erde, wenn wir im übrigen beiden Körpern gleiche mittlere Dichten zuschreiben. Suchen wir die Endgeschwindigkeit, mit welcher ein fremder, von unserem Meteoriten aus unendlicher Ferne ohne Anfangsgeschwindigkeit herbeigezogener kleiner Körper auf seiner Oberfläche ankäme, so finden wir, weil die anziehende Masse trillionenmal kleiner, die Annäherung an das Zentrum millionenmal grösser ist, als bei der Erde, eine Geschwindigkeit von etwa 11 Millimetern in der Sekunde. Diese Geschwindigkeit ist vollständig zu vernachlässigen. Sie brächte sicher keine merkliche Temperaturerhöhung an den Meteoriten hervor, würde höchstens zu einer Zertrümmerung vollkommen starrer, spröder Massen einen Beitrag leisten.

Die Gravitationswirkung ist also bei einzelnen Meteoriten, welche im Mittel vielleicht nur einen Decimeter Durchmesser besitzen mögen, viel zu klein, als dass nur durch das Zusammenballen ein Zusammenschmelzen derselben erfolgen könnte; es

müssten denn jene Meteoriten im Bereiche eines kräftig anziehenden Weltkörpers, etwa eines Planeten oder der Sonne, sich befinden, von diesem grosse Geschwindigkeiten in entgegengesetzten Richtungen erhalten haben und mit denselben aufeinander stossen, vielleicht auch von dem betreffenden Weltkörper noch erwärmt werden, was wir aber hier nicht voraussetzen wollen.

Dennoch ziehen die Meteoriten einander gegenseitig an, bis zur Berührung. Sie stossen zusammen, und nach den Stössen gehen sie wieder auseinander. Es gelten dabei die Stossgesetze. War der Stoss exzentrisch, so ging ein Teil ihrer fortschreitenden Geschwindigkeiten in Rotationsgeschwindigkeiten über. Ist ein ganzer Schwarm von Meteoriten vorhanden, so haben wir im grossen ähnliche Verhältnisse, wie wir sie im kleinen bei zusammenstossenden Molekeln gefunden haben, und doch noch wesentliche Unterschiede. Die Meteoriten werden durch die Zusammenstösse in Rotationen versetzt, verlieren dadurch und durch die bei den geringen Stössen doch entwickelte Wärme einen Teil ihrer fortschreitenden Geschwindigkeiten, können also nach diesen Vorgängen nicht mehr so weit voneinander sich entfernen, wie sie ursprünglich waren. Die Meteoriten ballen sich also doch mehr und mehr zusammen, bilden einen immer kleiner und dichter werdenden Schwarm, bestehend aus sämtlichen Meteoriten, zuletzt einer unmittelbar neben dem anderen, jedoch ohne festen Zusammenhalt.

Wir stellen uns vor, ein Meteorit habe im allgemeinen dieselbe Zusammensetzung aus verschiedenen Substanzen, wie die Erde. In demselben müssen also beispielsweise Wasser, Luft, überhaupt Gase zu finden sein. Bei dem von uns betrachteten Meteoritenschwarm, welchen wir uns vorläufig als von der Sonne ungeheuer weit entfernt denken wollen, weit jenseits des Neptuns, ist aber die ihm zugestrahlte Sonnenwärme verschwindend klein. Eine Eigenwärme der Meteoriten wäre vielleicht schon in wenigen Tagen fast vollständig in das Weltall ausgestrahlt, auch wenn jene zuvor glühende feste Körper gewesen wären, wie wir im Hinblick auf unsere früheren beim Monde angestellten Betrachtungen schliessen müssen. Folglich sind jene Meteoriten kalt, sie besitzen nahezu die Temperatur des Weltalls — 273 ° C., so dass auch alle Gase auf ihnen fest geworden sind.

Je mehr nun solche Meteoriten sich zusammenballen, um

so grösser wird ihre Gesamtmasse, um so grösser also die Endgeschwindigkeit eines in ihren Anziehungsbereich gelangten und von ihnen wirklich angezogenen neuen Meteorits bei seiner Ankunft an der Schwarmoberfläche. Diese Geschwindigkeiten werden nach und nach so gross, dass durch neu eingefangene Meteoriten Zusammenstösse bewirkt werden, welche zu Zertrümmerungen führen, wodurch die einzelnen Meteoriten kleiner werden. Die Gesamtmasse nimmt dabei immerfort zu. Bei den Zusammenstössen wird immer mehr Wärme entwickelt, und wenn auch die zusammengestossenen Meteoriten noch lange nicht zu Glühtemperaturen erhitzt werden, so erhalten sie doch durch verstärkte und vermehrte Stösse vorübergehend Temperaturen, bei welchen die fest gewordenen Gase verdampfen. Werden nämlich die Meteoriten von —273 ° C. auch nur bis zu —220 ° C. erwärmt, so wird schon Wasserstoff, bei noch etwas stärkerer Erwärmung wird Sauerstoff und Stickstoff, also Luft, in den gasförmigen Aggregatzustand übergehen. Im Zentrum des Meteoritenschwarmes bildet sich eine vollständige Atmosphäre.

Die Meteoriten werden nie vollkommene Kugeln sein. Bei jedem ihrer Zusammenstösse tritt also Rotation auf. Die im Schwarmzentrum gebildete Atmosphäre wird nun von den rotierenden Meteoriten mitgerissen. Sie überträgt die Rotationsbewegung von den am schnellsten rotierenden auf die übrigen Meteoriten, gleicht die verschiedenartigen Bewegungen durch ihren Gasdruck aus. Daher bildet sich nach und nach eine gleichmässige Rotation des ganzen Schwarmes aus, so weit die Gase seiner Atmosphäre reichen.

Die Atmosphäre des Schwarmes hat aber eine grosse Ausdehnung; denn die Gravitationskräfte, welche die Massen in sein Zentrum ziehen, sind sehr klein, wie wir oben gesehen haben. Schon bei sehr niedrigen Temperaturen, selbst wenn nur wenige Gase sich verflüchtigt haben, müssen bald alle Meteoriten des Schwarmes in seiner Atmosphäre stecken. Wärmeausgleiche werden durch die Atmosphäre begünstigt, und alle Meteoriten werden allmählich in die Rotation hineingezogen, unter annähernder Befolgung des Prinzips der Erhaltung der Rotationsmomente.

Ist seit dem letzten Hineinstürzen eines grösseren Meteorits eine gewisse Zeit verstrichen, so wird die ganze Eigenwärme

des Schwarmes wieder ausgestrahlt, für denselben verloren gegangen sein. Die Atmosphäre ist dementsprechend kleiner und kleiner geworden, die Gase haben sich schliesslich kondensiert, sind wieder fest geworden. Die Rotation aber, um den Schwerpunkt des Schwarmes, bleibt den Meteoriten erhalten. Sie rotieren weiter in der Rotationsebene, welche durch den entsprechenden grösseren Zusammenstoss bestimmt worden ist, ungemessene Zeiten hindurch, wegen des geringen Widerstandes, den der Aether besonders solch einer langsamen Bewegung entgegensetzt.

Rotationen erhalten wir nicht nur bei den Zusammenstössen einzelner Meteoriten, sondern auch bei dem Einlaufen von Meteoriten in die Meteoritenhaufen als Ganzes. Wird nämlich durch die vergrösserte Masse ein neuer grösserer Meteorit herbeigezogen, so kann er den gesamten Meteoritenhaufen, welcher das Zentrum des Schwarmes inne hat, im allgemeinen auch nicht in zentralem Stosse treffen. Er überträgt seine Geschwindigkeit auf alle von ihm getroffenen Meteoriten, diese treffen wieder andere Meteoriten, und die Zusammenstösse wiederholen sich so lange, bis alle Meteoriten ihre Geschwindigkeiten untereinander passend verteilt haben. Es entsteht ausser der Erwärmung bei den Stössen vermöge des exzentrischen Einlaufens eine neue Rotationsbewegung. Eine mitrotierende Atmosphäre bildet sich, welche alle Meteoriten, die in ihrem Bereiche liegen, in ihre Rotation einzuziehen sucht. Schliesslich rotieren alle diese Meteoriten in einer gemeinschaftlichen Rotationsebene um das Schwarmzentrum, auch dann noch, wenn durch Ausstrahlung und Abkühlung die Gase sich wieder vollständig kondensiert haben. Ist der zuletzt angekommene Meteorit kleiner als der zweitletzte, so wird die zuletzt gebildete rotierende Scheibe unter sonst gleichen Verhältnissen kleiner sein als die frühere; sie wird demnach die frühere Rotation auch dann nicht völlig aufzuheben vermögen, wenn die beiden entsprechenden Rotationsebenen gleich, die Rotationsrichtungen aber entgegengesetzt sind. Meteoriten also, welche der früheren Rotationsebene angehören, in grösseren Abständen um das Schwarmzentrum rotieren und deshalb von der neuen in anderer Richtung rotierenden Gasmasse nicht erreicht werden, rotieren ungestört weiter in ihren alten Bahnen.

Aehnliche Wirkungen haben alle Meteoriten. In ganz verschiedenen Rotationsebenen können demzufolge Meteoritenringe um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt des Schwarmes kreisen, mit Geschwindigkeiten, welche vom Ringdurchmesser, sowie von der Masse des ganzen Schwarmes und von ihrer Verteilung abhängen. Alle ihre Bewegungen geschehen nach Maassgabe des allgemeinen Gravitationsgesetzes.

Die Massen der Meteoritenschwärme müssen im allgemeinen sehr klein sein; denn noch nie konnte nachgewiesen werden, dass durch eine solche Masse ein Planet eine Störung seiner Bahn erlitten hätte. Dieser geringen Masse entsprechend sind die Abstände der um das Schwarmzentrum rotierenden Meteoriten von dem letzteren verhältnismässig gross, ihre Umlaufszeiten gleichfalls gross, die Geschwindigkeiten in ihren Bahnen klein. Und je kleiner diese sind, um so weniger wirkt der Aether als widerstehendes Mittel hemmend ein, um so gleichmässiger wird das System, auch in seinem allfällig verwickelten Bau, bestehen bleiben. Allerdings wird sich durch die Gravitationskraft aller Meteoriten aufeinander zuletzt der ganze Meteoritenschwarm doch immer wieder auf eine einzige Rotationsebene zurückführen. Allein die Zeitdauer, bis solches geschehen ist, kann eine sehr grosse sein. Inzwischen bleiben die Meteoriten, welche in jeder anderen Rotationsebene in anderem Abstande vom Schwarmzentrum sich befinden, zu rotierenden Meteoritenringen mit entsprechenden Durchmessern vereinigt, wenn nur diese Ringdurchmesser so weit voneinander abweichen, dass sich die Ringe ohne wesentliche gegenseitige Störung durcheinander hindurch zu bewegen im stande sind. Die einzelnen Ringe mögen, wenn sie beleuchtet sind, einen ähnlichen Anblick gewähren, wie die Ringe des Saturn. Im gemeinschaftlichen Zentrum des ganzen Schwarmes wird sich ein Meteoritenhaufen befinden, eine Scheibe, welche gleichfalls eine rotierende Bewegung besitzt.

Aus diesen Entwickelungen ist ersichtlich, wie verwickelt sich die Bewegungsverhältnisse in einem Meteoritenschwarm gestalten können, auf welchen keine äusseren Kräfte wirken. Nun wollen wir uns denken, ein solcher Schwarm werde von der Sonne angezogen, so dass er allmählich in ihre Nähe gelangt, sei nun der Schwarm eine einfache mehr oder weniger lockere

Zusammenlagerung zahlreicher Meteoriten, welche auch in der Sonnennähe im wesentlichen ihren einfachen Bau beibehält; sei derselbe einer jener oben erläuterten aus verschiedenen Ringen zusammengebauten Schwärme, oder sei er endlich als einfacher Schwarm in das Planetensystem eingetreten, aber durch die vielfachen Zusammenstösse seiner Meteoriten, welche nun im Bereiche des solaren und des planetarischen Einflusses viel wahrscheinlicher und wirkungsvoller werden, in ein System von verwickelterem Aufbau umgewandelt worden. Wir wollen untersuchen, welche Veränderungen mit einem solchen Schwarme während seiner Annäherung an die Sonne vorgehen werden.

Der Schwarm befinde sich anfänglich in einem Abstande von der Sonne, welcher weit grösser ist, als derjenige des fernsten Planeten, des Neptun. Im Schwarme wird keine wesentliche Eigenwärme zu finden sein, wenn nicht kürzlich ein grösserer Meteorit in denselben hineingefahren ist. Alle seine Wärme ist ausgestrahlt; alle seine Meteoriten haben sich auf eine Temperatur abgekühlt, welche ungefähr derjenigen des Weltalls —273 ^{0} C. gleichkommt. Die Gase sind fest geworden, sind irgendwo in Spalten der Meteoriten eingedrungen oder haben sich auf ihren Oberflächen gelagert.

Bewegt sich nun der Schwarm gegen die ruhend gedachte Sonne, so muss er als Bahn dem Gravitationsgesetze zufolge einen Kegelschnitt beschreiben, welcher in eine gerade Linie übergeht, wenn der Schwarm ohne jede Anfangsgeschwindigkeit in dem Anziehungsbereiche der Sonne sich befand, oder wenn er schon von Anfang an eine genau gegen die Sonnenmitte gerichtete Geschwindigkeit besessen hat. Sonst ist die Bahn des Schwarmes eine Ellipse, eine Parabel oder eine Hyperbel, je nach der Grösse und der Richtung seiner Anfangsgeschwindigkeit. Durch Wirkungen der Planeten, durch Zusammenstösse mit grösseren, etwa in planetarischen Bahnen um die Sonne kreisenden Meteoriten, zum Teil auch durch den widerstandleistenden Aether kann seine Bahn merklich verändert werden.

Je mehr der Schwarm in die Sonnennähe gelangt, um so stärker wirkt auf ihn die Sonnenstrahlung. Er erwärmt sich; jeder einzelne Meteorit erwärmt sich, hauptsächlich auf seiner

der Sonne zugewandten Seite, während seine entgegengesetzte Seite, wenn er nicht eine wesentliche Wärmeleitungsfähigkeit besitzt, kalt bleibt, ähnlich wie wir dies bei dem Monde gefunden haben. Der Meteorit hat aber in der Regel eine eigene Drehung: er kehrt bald seine eine, bald seine andere Seite der Sonne zu, so dass er gewisse, nicht zu tiefe Minimaltemperaturen erhält, und zwar um so höhere, je näher er sich der Sonne befindet.

Ist die Erwärmung weit genug vorgeschritten, so beginnt auf den Meteoriten, weil kein äusserer Druck auf ihren Oberflächen lastet, die Verdampfung. Zuerst verdampfen die Gase: Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, die Kohlenwasserstoffe, dann die Kohlensäure, bei noch höherer Temperatur das Wasser u. s. w. Um alle Meteoriten bilden sich Atmosphären, welche wegen der äusserst geringen Gravitationskraft, die von den kleinen Meteoriten nach aussen ausgeübt wird, sehr grosse Ausdehnungen annehmen und entsprechend geringe Dichten besitzen. Dieselben lagern sich als konzentrische Kugeln an ihre Meteoriten an, so lange die fortschreitende Geschwindigkeit der letzteren noch eine geringe ist. Nimmt aber die Anziehungskraft der Sonne zu, infolge der grösseren Annäherung des Schwarmes an dieselbe, so wird zwar die Beschleunigung dieser Kraft auf die Gasmolekeln genau so stark wirken, wie auf die festen Körper. Wir haben den Fall im leeren Raume, also gleiche Geschwindigkeit für alle Körper. Indessen wirkt doch der Aether als widerstehendes Mittel auf die leichten Gase, auf die einfachen Molekeln energischer ein, als auf grössere feste Körper, wegen der entsprechenden Verhältnisse von Oberfläche und Masse zu einander (S. 102). Folglich bleiben die Atmosphären in der Bewegungsrichtung hinter ihren Meteoriten etwas zurück, so dass sie diese nicht mehr genau konzentrisch einhüllen. Sind die Atmosphären sehr ausgedehnt, infolge starker Temperatursteigerungen, so können ihre äussersten Teile die Meteoriten sogar vollständig verlassen und in selbständigen Bahnen in die Sonne einlaufen.

Befinden sich viele Meteoriten nahe aneinander, so werden sich ihre Atmosphären teilweise miteinander vereinigen. Dadurch müssen ganz verwickelte Gebilde von Gashüllen entstehen, zusammengesetzt aus mehreren zum Teil ineinander fliessenden

Kugeln, Gebilde, welche während der Lagenänderung der Meteoriten relativ zu einander fortwährend ihre Gestalt verändern.

Sind in dem Schwarme durch Rotationen Ringbildungen aufgetreten, so werden die Atmosphären aller Meteoriten eines Ringes ineinander fliessen, zu einer einzigen Gashülle sich vereinigen, wenn die betreffenden Meteoriten dicht genug gelagert sind. Es entstehen ganze Gasringe, welche mit ihren Meteoritenringen um das gemeinschaftliche Schwarmzentrum kreisen. Wie die Atmosphären der einzelnen Meteoriten, so erhalten auch solche Gasringe ausserordentlich grosse Ausdehnungen; und wie dort, so gehen auch hier diejenigen Gasteilchen, welche sich über ein gewisses Maass von ihren Meteoritenringen entfernen, für dieselben verloren, müssen ihre selbständigen Bahnen einschlagen.

Die vermehrte Wärme bei der Annäherung eines Schwarmes an die Sonne wird aber nicht nur physikalische, sondern auch chemische Wirkungen hervorbringen: es werden Zersetzungen, Umlagerungen, chemische Verbindungen, insbesondere auch Verbrennungen zu stande kommen. Beobachten wir demnach einen solchen Meteoritenschwarm mit Hülfe eines Spektroskops, so werden wir vermöge des von den Meteoriten reflektierten Sonnenlichtes und, wenn diese der Sonne genügend nahe kommen, vermöge des Lichtes ihrer glühenden festen Teile, ein kontinuierliches Spektrum erhalten. Chemische Verbindungen von Gasen, wenn sie mit Lichterscheinungen verbunden sind, die Verbrennungen von Kohlenwasserstoffen u. dergl., sowie die molekularen Zusammenstösse in den durch die Sonnenwärme genügend erhitzten Gasen geben dagegen zu entsprechenden Gasspektren Veranlassung.

Eine andere Erscheinung bietet der Meteoritenschwarm, welcher nun, sobald er mit unseren Instrumenten sichtbar ist, als „Komet“ bezeichnet werden soll, im einfachen Fernrohr oder, wenn er der Sonne näher steht, dem unbewaffneten Auge dar. Denn was wir wahrnehmen, ist teils das Eigenlicht des Kometen, teils das von seinen Meteoriten reflektierte Sonnenlicht, teils sind es kleine Körperchen, welche durch den Kometen beleuchtet und uns erst dadurch sichtbar werden, wie sogleich gezeigt werden soll.

Irgend eine im Aetherraume befindliche Gaskugel, welche von Sonnenlicht getroffen wird, wirkt wie eine Linse. Sie nimmt, je nach ihrer Dichte, den divergenten Sonnenstrahlen mehr oder weniger von ihrer Divergenz, macht dieselben teilweise sogar konvergent. Wie mit Glaslinsen stärkere Beleuchtungen erzielt, vermehrte Wärmewirkungen hervorgebracht werden, ganz analog verhält es sich mit Gaskugeln im Aether. Die Gasatmosphäre eines Meteorits konzentriert, wenn sie passende Dichte und wenn ihr Abstand von der Sonne eine passende Grösse hat, die Sonnenstrahlen auf andere Meteoriten, welche, von der Sonne aus gesehen, hinter ihr sich befinden. Sie wirkt wie ein Brennglas, beleuchtet und erwärmt diese Meteoriten, entzündet brennbare Substanzen, begünstigt die Verdampfung auf ihnen.

Haben die Dichten solcher Gashüllen des Meteoritenschwarmes oder des Kometen ganz bestimmte Werte angenommen, welche zu seinem Abstande von der Sonne in bestimmter Beziehung stehen, so werden die durch Brechung abgelenkten Sonnenstrahlen in konzentrierterem Strahlenbündel nahezu parallel aus den Gaskugeln austreten. Es wird ein konzentrierter Lichtstrahl, in der Richtung von der Sonne gesehen, über den Kometen hinaus in den Raum gesandt. Das Licht aber, welches im Lichtstrahl konzentriert wurde, ist seiner Umgebung entnommen; es wurde nur in eine andere Richtung abgelenkt, durch jene Gaskugel. Der Lichtstrahl ist demzufolge rings umgeben von einer lichtleeren Hülle. Und wie ein Lichtstrahl, welcher durch eine feine Oeffnung ins dunkle Zimmer dringt, uns sichtbar wird durch Beleuchtung zahlloser feiner Stäubchen, die in der Luft herumfliegen, ohne dass wir sie unter anderen Umständen wahrnehmen könnten, so wird jener Strahl konzentrierten Lichtes inmitten seiner lichtleeren Hülle am dunkeln Himmel sichtbar, durch Beleuchtung zahlloser Meteoriten, welche, wie uns die Sternschnuppen lehren, überall im Raume vorhanden sind, durch Beleuchtung insbesondere derjenigen weiter entfernten Meteoriten, welche noch zu dem Kometen gehören, welche mit ihm das Sonnensystem durchziehen. Der Komet erhält dadurch einen „Schweif“. Derselbe erscheint um so heller, je stärker die Lichtstrahlen wirken, je näher also der Meteoritenschwarm an die Sonne heranrückt.

Die Form dieses Kometenschweifs wäre mehr oder weniger diejenige eines zusammengesetzten und verwickelten Konus, wenn die das Sonnenlicht brechenden Gaskugeln des Kometenkopfes im Sonnensysteme ruhig stünden; sie bekommt aber entsprechende Krümmungen, wenn die fortschreitende Geschwindigkeit des Kometen mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes vergleichbar wird. Stärker noch muss die Schweifkrümmung werden, weil die Schweiflänge dadurch vergrössert wird, dass die im Schweife beleuchteten und stark erwärmten Meteoriten selber ihre lichtaussendenden und lichtbrechenden Atmosphären erhalten; denn nun konzentrieren sie selber das Sonnenlicht in dem hinter ihnen liegenden Raume, erhalten ihre eigenen kleineren Schweife und wirken auf neue Meteoriten in analoger Weise ein. Bei diesen Vorgängen setzt sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes mit der Geschwindigkeit der Gasentwickelung bezw. der Verbrennung auf den eben in Beleuchtung begriffenen Meteoriten zu einer neuen Geschwindigkeit zusammen, deren Mittelwert der fortschreitenden Geschwindigkeit der Kometen viel näher steht, als die Lichtgeschwindigkeit. Daher wird die aus den nunmehr maassgebenden Geschwindigkeiten resultierende Schweifkrümmung einen recht beträchtlichen Wert annehmen.

Der Kometenschweif erhält ausserdem eine andere Form, wenn die seinem Lichte ausgesetzten Meteoriten ungleichmässig angeordnet sind. Er verändert seine Form fortwährend, wenn die Gashüllen des Kometenkopfes, welche die Schweiferscheinung in erster Linie verursachen, ihre Form, oder wenn die im Schweife beleuchteten Meteoriten des Schwarmes. ihre Anordnung fortwährend ändern, oder wenn der Lichtstrahl mit den erzeugenden Gashüllen wandert und immer wieder andere Meteoritenanordnungen im Raume antrifft. Solche Vorgänge lassen sich unter Berücksichtigung der oben behandelten Bewegungen und Rotationen im Inneren von Meteoritenschwärmen leicht verstehen.

Im Kometenkopfe beobachtet man hie und da ein Ausströmen von Materie gegen die Sonne hin, nämlich die Verdampfung und Vergasung von Substanzen, welche hauptsächlich auf der von der Sonne beleuchteten Seite der Meteoriten vor sich geht. Man beobachtet leuchtende gasförmige Kugelhüllen, Gasringe, welche

uns bei entsprechender Neigung ihrer Rotationsebene als elliptische Ringe erscheinen. Das Ausströmen wird Periodizitäten zeigen, wenn diejenigen Meteoriten, welche vorwiegend Gase und Dämpfe ausströmen lassen, vermöge ihrer Rotationsbewegung um das Schwarmzentrum bald auf der der Sonne zugewandten, bald auf der von ihr abgewandten Seite des Schwarmes sich befinden, wenn somit die betreffenden Ringe oder Scheiben längs ihres Umfanges eine ungleichmässige Verteilung von Meteoriten aufweisen.

Einzelne Kometen gelangen so sehr in die Sonnennähe, dass sie zu dieser Zeit um weniger als den halben Sonnenradius von ihrer Oberfläche entfernt sind. In solcher Nähe werden alle festen Körper durch die Sonnenstrahlung ungemein erhitzt, viele Substanzen verdampfen. Bei genügender Sonnennähe können möglicherweise ganze Meteoriten in Gasform übergehen. Von diesen Gasen oder Dämpfen wird sich derjenige Teil, welcher sich vom Schwarmzentrum übermässig entfernt hat und der Sonne zu nahe gekommen ist, also hauptsächlich ein Teil der leichter flüchtigen Gase, entweder direkt in die Sonne stürzen oder in unmittelbarer Sonnennähe sich weiter bewegen. Ein anderer Teil aber, und zwar besonders die Gesamtheit aller schwer verdampfbaren Substanzen, wird ein zusammenhängendes Gasgebilde bleiben, welches seine optischen Wirkungen ausübt und welches dem Gravitationsgesetze folgend, ungefähr in seiner ursprünglichen Bahn weiter eilt, allerdings gehemmt durch den in verstärktem Maasse auf dasselbe einwirkenden Druck des widerstandleistenden Aethers. Diese Dämpfe kondensieren sich rasch wieder zu festen Körpern, zu Meteoriten, wenn der Komet von der Sonne genügend sich entfernt hat, wenn dort seine erhitzten Teile wieder mehr Wärme in das Weltall ausstrahlen können, als sie von der Sonne aufnehmen. Damit büsst denn auch der Komet den grössten Teil des Glanzes seiner Erscheinung ein.

Wegen dieses Verlustes der leichter verdampfbaren Substanzen, welchen der Komet in sehr grosser Sonnennähe erleidet, wird er die letztere in ganz anderer Zusammensetzung verlassen, als er in derselben angekommen ist. Bei einem zweiten Umlaufe um die Sonne wird er danach in der Regel nicht mehr dieselbe glanzvolle Erscheinung darbieten, wie bei seinem erstmaligen

Eintritte in die Sonnennähe; er müsste denn das zweite Mal der Sonne näher kommen, als das erste Mal, was aber wegen des widerstandleistenden Aethers, welcher ganz besonders auf einen nach seinem Periheldurchgange vollständig in Gas- und Dampfform übergeführten Kometen wirksam ist, keine grosse Wahrscheinlichkeit für sich hat. Umgekehrt werden im allgemeinen die grossen Exzentrizitäten der Kometenbahnen immer kleiner, bis schliesslich die Kometen zu solchen Meteoritenschwärmen geworden sind, welche in planetarischen Kreisen um die Sonne ziehen.

Wir haben gesehen, dass ein Meteoritenschwarm ein Gebilde von sehr verwickelter Zusammensetzung sein und dass er eine sehr grosse Ausdehnung besitzen kann, wenn er durch entsprechende Wirkungen in ein Rotationssystem umgewandelt worden ist. Gelangt ein solcher Schwarm in die Sonnennähe, so wird dessen Kern in der Regel sich so verhalten, wie wir auseinandergesetzt haben. Die Sonne aber, vermöge ihrer grossen Anziehungskraft, wird viele von den weiter vom Kerne abstehenden Meteoriten des Schwarmes in ganz neue Bahnen ziehen. Ein kleinerer Teil dieser Meteoriten wird sich unmittelbar in die Sonne stürzen, ein grösserer Teil derselben wird stark abgelenkt. Die abgelenkten Meteoriten werden sich teilweise in kleineren Ellipsen um die Sonne weiter bewegen, teilweise erhalten sie grössere Geschwindigkeiten, als der Kometenkern selber, und entfernen sich deswegen gleichfalls von ihm.

Die zahllosen in der einen oder in der anderen Weise bleibend in die Sonnennähe gelangten Meteoriten würden alle in verschiedenen Ebenen, jeder nämlich in derjenigen Ebene, in welcher er in die Sonnennähe kam, um die Sonne sich bewegen, ihre Gesamtheit würde gleichsam eine kugelförmige Sonnenhülle bilden, wenn nicht noch andere Kräfte auf sie einwirkten. Solche anziehende Kräfte üben aber die Planeten auf alle diese Meteoriten aus, sie ziehen die regellosen Bahnen derselben allmählich in die Ekliptik hinein. Dabei stossen die rückläufig sich bewegenden Meteoriten so lange auf rechtläufige, verlieren zusammen ihre Geschwindigkeiten und stürzen sich dadurch näher an die Sonne heran oder in dieselbe hinein, bis das gesamte Gebilde in gleichem Sinne um die Sonne sich dreht, bis

es eine flache, die Sonne umgebende und um sie kreisende Meteoritenscheibe geworden ist, wie wir eine solche als **Zodiakallicht** wahrnehmen.

Die Meteoriten des Zodiakallichtes sind also ihrer Natur nach nicht verschieden von denjenigen, welche den Kometen selber erhalten bleiben. Die der Sonne sehr nahe befindlichen Meteoriten desselben bekommen durch Erwärmung ihre kugelförmigen Gashüllen, welche optische und Wärmewirkungen auf weiter von der Sonne entfernte Meteoriten ausüben. Daher können wir auch vom Zodiakallichte ausser einem kontinuierlichen Spektrum ein Gasspektrum erhalten. Meteoriten des Zodiakallichtes, welche der Sonne am nächsten sich befinden, verlieren ihre Gase und Dämpfe allmählich an dieselbe. Zwar kreisen solche Dämpfe weiter um die Sonne, in der ursprünglichen Richtung, aber sie gelangen doch wegen des widerstehenden Aethers rascher in die Sonne als fest gebliebene Körper. Sie beschreiben merklich kleinere und kleinere Kreise und übertragen schliesslich ihre Geschwindigkeiten an die Sonnenoberfläche, sobald sie in dieselbe einlaufen [1]).

Tritt nun ein Kometenkern, wie es meistens der Fall ist, quer durch das Zodiakallicht hindurch, so wird der aus jenem austretende konzentrierte Lichtstrahl, sein Schweif, an dieser Stelle plötzlich eine viel grössere Zahl von Meteoriten im Raume antreffen als zuvor. Es wird also auch aus diesem Grunde der Komet ungefähr in der Sonnennähe seinen Schweif ganz besonders rasch entfalten können; er wird seine Schweifgestalt unter Umständen dem Zodiakallichte anpassen und dann die Begrenzungsfläche des letzteren erkennen lassen. Anderseits wird der Kometenkern im Zodiakallichte einen merklich grösseren Widerstand finden als nur im Aether allein. Die Bahn des in das Planetensystem eintretenden Kometen ist

---

[1]) Die Merkmale, welche die „Photosphäre", die „Chromosphäre" und die „Corona" der Sonne voneinander unterscheiden, dürften durch die von uns erläuterten Vorgänge in, auf und über der Sonne ihre genügende Erklärung finden. Insbesondere kann die strahlige Struktur der Corona nicht auffallen, wenn man die Sonne umgeben von zahllosen zum Teil in Gasform übergegangenen Meteoriten annimmt, durch welche die Sonnenstrahlen wie durch Wolken hervorbrechen.

dann eine etwas andere als diejenige des abziehenden Kometen.

Die allgemeine Gravitationskraft regiert also die Bewegungen der Kometen genau so wie diejenigen aller Planeten und Meteoriten; als störende Einflüsse kommen für die Kometen in Betracht die Anziehungen der Planeten, der Widerstand des Aethers und der Widerstand derjenigen Meteoriten, auf welche die Kometen stossen. Die Sonnenstrahlung dagegen leitet die übrigen Vorgänge bei den Kometenerscheinungen.

Die Entwickelung des Sonnensystems.

H. v. Helmholtz hat nach seiner Kontraktionstheorie berechnet, dass durch die Verdichtung aller Materien des Sonnensystems aus einer gleichmässig erfüllten Kugel, deren Radius grösser als derjenige der Neptunsbahn ist, bis in ihren jetzigen Zustand eine ungeheure Wärmemenge erzeugt werden musste. Durch diese Wärmemenge würde die ganze Sonnenmasse, wenn sie die hohe spezifische Wärme des Wassers besässe, um etwa 27 Millionen Grade erwärmt worden sein. Nehmen wir nun an, eine solche Wärmemenge werde dem Sonnensystem von aussen wirklich zugeführt und sie sei genügend, um alle Materie so weit auseinander zu treiben, dass sie jene ganze bis über die Neptunsbahn hinaus reichende Kugel wieder ebenso wie früher erfülle! Welche Veränderungen müssen mit dieser fein zerteilten Materie im Laufe der Zeiten vor sich gehen?

Wir stellen uns vor, jene Temperaturerhöhung werde bewirkt durch Ineinanderstürzen von zwei grossen Weltkörpern, deren Masse zusammen gleich derjenigen des ganzen Sonnensystems ist. Diese Weltkörper mögen sich, dem Gravitationsgesetze gehorchend, aus ungeheuren Entfernungen angezogen haben und nun mit den erhaltenen, nach Hunderten von Kilometern zählenden Endgeschwindigkeiten ineinander stürzen. Andere wägbare Materie sei ausser diesen beiden Körpern in unserem betrachteten Raume nicht vorhanden.

Bewegen sich zwei Weltkörper, beide aus fast unendlicher Ferne kommend, gegeneinander, so werden sie sich, vermöge ihrer gegenseitigen Anziehung, ineinander stürzen, wenn ihre ursprüngliche Bewegungsrichtung diejenige der Verbindungslinie ihrer Schwerpunkte gewesen ist. Sie werden sich treffen, zusammenstossen in zentralem oder in exzentrischem Stosse. Sie werden, wenn sie in exzentrischem Stosse aufeinander fahren, eine Rotationsbewegung um eine Achse durch ihren gemeinschaftlichen

Schwerpunkt erhalten. Der Fall eines vollkommen zentralen Stosses, ohne Auftreten einer Rotationsbewegung, hat nur eine verschwindend kleine Wahrscheinlichkeit für sich. Er könnte eintreten, wenn die beiden Weltkörper, bevor sie in ihren gegenseitigen Anziehungsbereich kamen, keine andere als eine Bewegung in der Richtung der Verbindungslinie beider Schwerpunkte gehabt hätten; wenn sodann jene Weltkörper nicht feste Körper mit ungleicher Massenverteilung, mit Bergen und Thälern, mit Hohlräumen im Inneren, sondern vollkommen homogene Kugeln wären, etwa zwei Gaskugeln mit allseitig symmetrischer Massenverteilung, die Verbindungslinie der beiden Schwerpunkte als Symmetrieachse angenommen.

Ein solcher Ausnahmefall wird aber in der Natur niemals wirklich vorkommen. Teils werden sogar in Gaskugeln die Massen nicht in dieser Weise genau gleichmässig verteilt sein, teils aber muss jeder Weltkörper im Raume eine wenn auch noch so geringe Bewegung besitzen. Daher haben unsere beiden betrachteten Weltkörper im allgemeinen eine relative Bewegung zu einander, deren Richtung nicht ohne weiteres in die Verbindungslinie ihrer Schwerpunkte fällt. Haben sie eine solche Bewegung, mit noch so geringer Anfangsgeschwindigkeit, so lehrt die Theorie der Gravitationswirkungen, dass in diesem Falle die beiden Weltkörper Ellipsen um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben. Sind jene Anfangsgeschwindigkeiten klein genug, so werden die Ellipsen sehr lang gestreckt und die beiden Weltkörper werden sich bei der grössten Annäherung doch noch berühren, in exzentrischem Stosse aufeinander stürzen. Sind jene Anfangsgeschwindigkeiten grösser, so haben die Ellipsen geringere Exzentrizitäten. Die Weltkörper können ohne Berührung aneinander vorüberziehen, und sie fahren, nach dieser Annäherung, wieder auseinander. Sie fliehen hinaus in die Welträume, aus welchen sie hergekommen sind.

Indessen waren die Geschwindigkeiten bei ihrer grössten Annäherung sehr grosse. Diese Geschwindigkeiten suchte der Aether als widerstehendes Mittel zu vermindern. Dadurch werden die zweiten Ellipsen kleiner als die ersten, ihre grossen Achsen werden kürzer. Die Weltkörper entfernen sich nicht mehr bis auf ihren früheren grössten Abstand voneinander. Die dritten Ellipsen werden wieder kleiner als die zweiten. Die Ellipsen

nähern sich also immer mehr der Kreisform, und wenn diese jemals erreicht wird, so werden die Kreise wegen des widerstandleistenden Aethers kleiner und immer kleiner, bis die Weltkörper, wenn auch nach unermesslichen Zeiten, zuletzt doch ineinander stürzen und zu einem neuen Rotationssysteme Veranlassung geben.

Unsere beiden betrachteten Weltkörper mögen sich in sehr lang gestreckten elliptischen Bahnen gegeneinander bewegen und direkt ineinander stürzen. Ihren Geschwindigkeiten entsprechend entwickelt sich bei dem Zusammenstosse eine ungeheure Hitze, und dieser gegenüber können die Schmelzwärme und die Verdampfungswärme keine Rolle mehr spielen. Auch feste Körper werden augenblicklich flüssig und gasförmig. Die Gase und Dämpfe werden mit den entsprechenden Geschwindigkeiten, etwa mit denjenigen, welche die Weltkörper im Zeitpunkte ihres Zusammenstosses besessen haben, wie durch eine Explosion auseinander getrieben. Beim Stosse erhält die Gesamtmasse eine Rotationsbewegung um eine gemeinschaftliche Schwerpunktsachse, höchstens so gross, dass die Umfangsgeschwindigkeit der aus beiden Weltkörpern gebildeten Gaskugel vor ihrer explosionsartigen Ausdehnung etwa gleich der maximalen Geschwindigkeit der zusammenstürzenden Weltkörper ist, wenn diese in passender Exzentrizität aufeinander gefahren sind.

Aus dieser beim Stosse zuerst entstandenen Gaskugel werden die Gase und Dämpfe auseinander gejagt, jedoch nicht überallhin gleich schnell, sondern schneller in den Richtungen der Rotationsebene, als senkrecht dazu. Denn die Molekeln, welche in der Rotationsebene fliegen, besitzen den senkrecht zu dieser Ebene fliegenden Molekeln gegenüber als Geschwindigkeitsüberschuss noch die Rotationsgeschwindigkeit des Systems.

Wegen der ungeheuren Temperatursteigerung infolge des Stosses werden alle Körper in ihre kleinsten Teilchen, in ihre Molekeln, teilweise sogar in ihre Atome aufgelöst; diese fliegen auseinander, breiten sich in einer abgeflachten Scheibe aus, welche man sich beispielsweise als verkürztes Rotationsellipsoid denken mag, dessen Aequator in der Rotationsebene liegt [1].

---

[1]) Wenn wir ein triviales Beispiel nehmen wollen, können wir den Vorgang des Ausspeiens gasförmig gewordener Materie aus den plötzlich zusammengestürzten Massen jener beider Weltkörper vergleichen mit dem

Diese Scheibe entwickelt, vergrössert sich so lange, bis die ineinander gestürzten Weltkörper ganz gasförmig geworden sind, wenn sie es nicht von Anfang an waren, und bis die Drucke und die Temperaturen überall so tief gesunken sind, dass die Gravitationswirkung eine weitere Ausdehnung des Systems zu verhindern vermag. Es wird dann, nach dem verhältnismässig kurz dauernden Vorgang des Zusammenplatzens der beiden Weltkörper, nach der eventuellen Ueberführung derselben in den Gaszustand und nach beendigter Ausdehnung aller Gase unsere grosse, abgeflachte Scheibe langsam um eine allen ihren Teilen im wesentlichen gemeinschaftliche Rotationsachse sich drehen.

Bei der Ausdehnung, bei der Entfernung von ihrem Anziehungszentrum ist den Molekeln ihre Geschwindigkeit so lange genommen worden, bis die äussersten derselben sich nicht mehr weiter von jenem Zentrum entfernen konnten, bis auch ihre relativen Geschwindigkeiten gegen die Nachbarmolekeln verschwindend klein geworden waren. Es ist folglich die Temperatur der äussersten Schichten unserer Gasscheibe — 273 ° C.

Die absoluten Geschwindigkeiten der Molekeln dieser äussersten Schichten haben durchschnittlich weit grössere Werte, als ihre relativen Geschwindigkeiten, weil das System rotiert. Zwar sind den Molekeln bei ihrer Entfernung vom Anziehungsmittelpunkte auch ihre tangentialen Geschwindigkeitskomponenten, welche zu der Rotation des Systems gehören, vermindert worden, nach Maassgabe der Keplerschen Gesetze. Daher haben die äussersten Molekeln unserer Scheibe, in der Richtung der Rotationsbewegung gemessen, eine kleinere fortschreitende Geschwindigkeit, als die innen befindlichen. Aber eine solche Geschwindigkeit haben sie doch, und daraus leitet sich eben die Rotation der ganzen Gasscheibe um die gemeinschaftliche Rotationsachse ab.

Wir stellen uns vor, bei der Entstehung der gasförmigen Scheibe aus jenen beiden zusammenstürzenden Weltkörpern seien anfänglich noch viele Unregelmässigkeiten in der rotierenden Gasmasse zu finden gewesen, wie dies in der Natur der Sache liegt. Denn beim Zusammenstossen fester Körper verdampften

---

Ausspeien von Funken aus einer Feuerwerkersonne, deren ausgeschleuderte Teilchen der Schwerkraft der Erde nicht unterworfen wären, also nicht zur Erde fallen würden.

die verschiedenen Substanzen ungleich schnell; dieselben waren auch nicht überall gleichmässig angehäuft. Es möge sich aber mit der Zeit eine gewisse Regelmässigkeit und Ordnung ausgebildet haben, in dem Sinne, dass die gasförmige Scheibe eine ziemlich gleichmässige Temperaturzunahme und also Drucksteigerung von ihrer ganzen Oberfläche gegen die Mitte hin erkennen lasse. Auch soll jeder beliebig kleine Molekelkomplex in einem Kreise um die Rotationsachse der Scheibe sich bewegen. Es sei ferner zu berücksichtigen die Wirkung des der Bewegung widerstandleistenden Aethers. Die Scheibe besitze etwa die Ausdehnung unseres Planetensystems bis über den Neptun hinaus. Wie wird sich nun diese Scheibe weiter entwickeln?

Die absolute Temperatur in der Oberfläche der gasförmigen Scheibe ist überall Null Grad, die relativen Molekulargeschwindigkeiten sind Null, oder doch überaus klein. Es werden also dort die Atome und die Molekeln aneinander haften. Es bilden sich Molekelaggregate, durch Ankristallisieren feste Körperchen [1]), welche zwar, wenn sie tiefer in das Gasinnere hineinfallen, durch die grösseren Molekulargeschwindigkeiten wieder gasförmig bezw. flüssig gemacht werden können. Indessen nimmt doch die Temperatur des Ganzen durch Licht- und Wärmeausstrahlung fortwährend ab. Vorzugsweise kondensieren sich überall die schwer verdampfbaren Substanzen, zum Beispiel die schwersten Metalle, welche sich anfänglich in der ganzen Gasscheibe vorfinden, sogar in den äussersten Regionen derselben; denn ihre Anfangsgeschwindigkeiten mussten beim Aufeinanderplatzen der beiden Weltkörper ungefähr die gleichen werden, wie diejenigen der leichteren Substanzen.

Die ganze mit festen Körperchen bezw. mit flüssigen Tröpfchen teilweise durchsetzte Gasmasse zieht sich immerwährend zusammen, jedoch nach verschiedenen Richtungen in verschiedener Weise. Denn dem Gravitationsgesetze zufolge kann kein Teilchen gegen den Anziehungsmittelpunkt fallen, ohne eine Geschwindigkeitsvermehrung zu erhalten. Fallen nun Molekeln senkrecht zur Rotationsebene des Systems gegen die Scheibenmitte hin, so werden sie dadurch auf höhere Geschwindigkeiten

---

[1]) In der Regel bilden sich keine flüssigen Tropfen an Stellen, an welchen der Gasdruck ein so überaus geringer ist (S. 43).

gebracht, bewirken eine Temperatursteigerung, welche der weiteren Zusammenziehung ein Hindernis entgegensetzt, und nur nach Maassgabe der Abkühlung der ganzen Masse kann diese Zusammenziehung wirklich fortschreiten. Fallen dagegen Molekeln in der Rotationsebene gegen die Rotationsachse bezw. gegen den Anziehungsmittelpunkt hin, so hat dies zwar einesteils analoge Wirkungen zur Folge, wie wir sie soeben auseinandersetzten; andernteils nehmen aber ihre tangentialen Geschwindigkeitskomponenten, welche der Rotation der Gasscheibe entsprechen, durch dieses Fallen gleichfalls zu, wie die Keplerschen Gesetze lehren. Schliesslich muss sich nach genügender Zusammenziehung der Scheibe in dieser ein Bewegungszustand herausbilden, in welchem jeder Molekelkomplex selbständig — also unabhängig von dem Temperaturzustande der Materie seiner nächsten Umgebung — seinen Kreis um die Rotationsachse zieht; denn er hat nun eine so grosse Tangentialgeschwindigkeit erlangt, dass er ohne anderweitige Einwirkungen nicht mehr näher gegen die Rotationsachse fallen kann. Von diesem Augenblicke an erfolgt durch Abkühlung und Kondensation nur noch Zusammenziehung der Gasscheibe senkrecht zu ihrer Rotationsebene, ungeachtet aller auftretenden leeren Räume. Die Scheibe flacht sich immer mehr ab, ohne dass ihr Aequator sich noch weiterhin zusammenzöge.

Wir dürfen nicht glauben, dass unsere Gasscheibe jemals mit überall vollkommen gleichmässig verteilter Masse erfüllt gewesen sei. Im Gegenteil muss dieselbe sehr wesentliche Ungleichmässigkeiten immer besessen haben, ganz verschiedene Massenansammlungen an verschiedenen Orten. Wo aber einmal grössere Massen angesammelt sind, von dort aus werden grössere Anziehungskräfte nach allen Seiten hin ausgeübt. Wenn somit dichtere Stellen in unserer Scheibe jemals sich befanden, so müssen dort die benachbarten Massen immer mehr sich hinziehen: die Substanzen ballen sich fortwährend zusammen.

Die Kondensation muss am wirksamsten eingreifen in den äussersten Schichten nahe dem Scheibenäquator; denn dort ist die Temperaturzunahme gegen den Anziehungsmittelpunkt hin die langsamste, wegen der entsprechend grossen Abstände. Wir haben bis in grosse Tiefen hinein sehr niedrige Temperaturen. Ausserdem ist dort die licht- und wärmeausstrahlende Ober-

fläche eine verhältnismässig grosse. In der Nähe des Scheibenäquators werden sich also zuerst grössere Massen kondensieren, sich zusammenballen, und je grösser die in einem kleineren Raume konzentrierte Masse geworden ist, um so grössere Anziehungskräfte übt sie auf alle benachbarten Teilchen aus, so dass sie nach und nach in weitem Umkreise alles an sich zieht.

Werden die Teilchen, welche sich in ein am Rande der Gasscheibe entstehendes neues Anziehungszentrum stürzen, infolge des Zusammenballens dort auch zu einer selbständigen Rotationsbewegung Veranlassung geben? Allerdings! Um dies einzusehen, untersuchen wir die entsprechenden Vorgänge bei zwei beliebigen solchen Teilchen, welche in verschiedenen Abständen vom Scheibenmittelpunkte ihre Kreise ziehen. Zuerst stellen wir uns vor, nicht die ganze Scheibe sei mit Materie erfüllt, sondern nur in ihrer Mitte sei eine grosse Masse, etwa die Sonne, vorhanden, ausserdem noch unsere beiden Teilchen, welche den Keplerschen Gesetzen zufolge ganz bestimmte Umlaufszeiten besitzen. Fiele nun aus irgend einem Grunde das äussere Teilchen näher gegen den Scheibenmittelpunkt hin, in die Kreisbahn des inneren Teilchens hinein, und bewegte es sich fortan in dieser, so müsste es in derselben wegen der Keplerschen Gesetze die nämliche Geschwindigkeit besitzen, wie das innere Teilchen selber.

Nun ist aber die ganze betrachtete Scheibe mit Materie erfüllt. Diejenigen konzentrischen Scheibenschichten, deren Radien einerseits vom inneren, anderseits vom äusseren Teilchen begrenzt werden, bewirken vermöge ihrer Anziehungskraft eine grössere tangentiale Umlaufsgeschwindigkeit des äusseren Teilchens, als wenn die betreffenden Massen n i c h t vorhanden wären. Fällt also unter diesen neuen der Wirklichkeit entsprechenden Voraussetzungen das äussere Teilchen gegen den Scheibenmittelpunkt hin, gelangt es in die Kreisbahn des inneren Teilchens und bewegt es sich fortan in der letzteren vorwärts, so läuft es mit einer grösseren Geschwindigkeit um, als das innere Teilchen selbst. — Würde das innere Teilchen aus irgend einem Grunde in die Bahn des äusseren eintreten, so liefe es dort umgekehrt mit einer kleineren Geschwindigkeit um, als sie das äussere Teilchen selbst besitzt.

Dies muss ganz allgemein gültig sein. Zieht sich also die Scheibe in den Richtungen der Rotationsebene zusammen, so berühren sich zuerst die kleinsten Teilchen, welche in unendlich benachbarten Kreisen sich bewegen. Im Augenblicke der Berührung hat das von aussen kommende, im grösseren Kreise sich bewegende Teilchen eine grössere fortschreitende Geschwindigkeit als das innere. Bei ihrer Vereinigung muss also ihre Gesamtmasse eine Rotationsbewegung annehmen im Sinne der Umdrehungsbewegung aller Teilchen um den Scheibenmittelpunkt. Bei allen Kondensationen erhalten alle dabei gebildeten kleinen Teilchen, seien es flüssige Tröpfchen oder feste Körperchen, im Mittel eine Rotation in diesem Sinne. Ballen sich solche Teilchen zusammen, so wird auch der aus ihnen entstehende grössere Ball im gleichen Sinne in Rotation versetzt. Die gleich gerichteten Rotationsbewegungen addieren sich, und zieht unser Ball noch so sehr aus der ganzen Nachbarschaft alle Masse an sich, so haben doch alle, auch die kleinsten Teilchen, stets ihre Rotationsbewegung im gleichen Sinne. Daher erhält der zuletzt aus der ganzen Vereinigung hervorgehende grosse Ball, welcher nun als „Planet“ bezeichnet werden soll, die gleichartige Rotationsbewegung.

Der Planet zieht bei seinem Entstehen nach und nach alle Teilchen, welche in wenig grösseren, und alle diejenigen, welche in wenig kleineren Kreisen um den gemeinschaftlichen Scheibenschwerpunkt rotieren, an sich; er saugt gleichsam ringsum alles auf, so dass da, wo er umläuft, weit und breit ein leerer Ring in der Gasscheibe[1]) zurückbleibt. Der anfänglich vorhandene materielle Ring hat sich also von allen Seiten her gegen seine Mittellinie und gegen einen Punkt zusammengezogen, hat sich zu einem Ball verdichtet. Weil der Ball, wie wir (S. 145) gesehen haben, ohnehin am Rande der rotierenden Gasscheibe zuerst sich bilden musste, so ist durch ihn diese Scheibe ihrer äussersten Zone beraubt worden. Der entstehende Planet schält gewissermassen unsere betrachtete Gasscheibe, rollt sich an ihr auf,

---

[1]) Wir nennen der Einfachheit halber diese Scheibe immer noch „Gasscheibe“, auch wenn im betrachteten Entwickelungszustande ein grosser Teil derselben vielleicht nur noch aus diskret verteilten festen Körperchen besteht.

wird dabei selber zu einer kleineren rotierenden Gasscheibe. Durch das fortwährende Zusammenstürzen von so bedeutenden Massen wird nämlich der Planet trotz beständiger Licht- und Wärmeausstrahlung doch sich wieder stark erhitzt haben, glühend und zuletzt, wenn seine Masse genügend zunahm, sogar gasförmig geworden sein. — Alle in der ursprünglichen Gasscheibe vorhandenen Substanzen werden voraussichtlich in diesem Planeten anzutreffen sein, zum Beispiel auch die in unserer irdischen Atmosphäre befindlichen Gase.

Nach dem Ablaufe des beschriebenen Vorganges besteht unser rotierendes System aus einer Gasscheibe, kleiner als zuvor, deren Teilchen wie früher in bestimmter Rotationsbewegung um die Scheibenmitte begriffen sind, den Keplerschen Gesetzen entsprechend; um diese Scheibe kreist langsam eine kleinere Gasscheibe, welche sich noch um eine eigene Achse dreht. Die Rotationsebene der kleineren Scheibe ist ungefähr die ursprüngliche Rotationsebene geblieben, der Sinn der Rotation beider Scheiben ist derselbe.

In den nunmehrigen äussersten Schichten der kleiner gewordenen Gasscheibe ballen sich die Massen gleichfalls zusammen. Es entsteht ein rotierender Ball, ein zweiter Planet, welcher wiederum einen Ring von jener Scheibe in sich aufnimmt. Dann entsteht ein dritter, ein vierter Planet, und so weiter, bis zum letzten. Gleichzeitig hat sich auch der zentrale Teil der ganzen Scheibe mehr und mehr verdichtet, es entsteht die Sonne; in ihr sammeln sich hauptsächlich alle diejenigen Massen an, welche beim Ineinanderstürzen jener beiden Weltkörper (S. 142) senkrecht zu der Rotationsebene fortgeschleudert worden sind. Auch die Sonne muss die ursprüngliche Rotationsbewegung der Scheibe der Richtung nach beibehalten.

Während sich in solcher Weise aus einer grossen rotierenden Gasscheibe die Planeten (und die Sonne) gebildet haben, welche wir alle vorläufig gleichfalls als rotierende, im wesentlichen gasförmige Scheiben auffassen wollen, sind aber dieselben Wirkungen nach aussen, nämlich Licht- und Wärmeausstrahlung, in allen kleineren Gasscheiben fortwährend thätig gewesen. Auch sie flachen sich wegen der zunehmenden Abkühlung immer mehr ab, und es entstehen, wenn sie genügend grosse Dampfmassen besassen, in ihren äusseren Schichten neue um eigene Achsen

rotierende noch kleinere Gasscheiben, welche sich nunmehr gleichfalls weiter zusammenziehen und kondensieren. Aus den letzteren sind die Satelliten hervorgegangen.

Fortwährend kühlen sich diese Gasgebilde ab, indem sie Licht und Wärme ausstrahlen. Sie kondensieren sich und ballen sich zusammen, erhitzen sich dabei wieder, verlieren also ihren Energieinhalt, ihre Wärme, ihre hohen Temperaturen doch nur langsam. Mit der Zeit erhalten sie einen flüssigen kugeligen Kern, welcher immer grösser wird, je mehr Dämpfe zur Kondensation gelangen. Endlich bildet sich auf dem flüssigen Kerne eine feste Kruste. Mit fortschreitender Abkühlung zieht sich der Kern beständig zusammen, die Kruste erhält Faltungen. Es entstehen Berge und Thäler. Die Kruste wird zu einer dickeren Rinde. Der rasch fortschreitenden Abkühlung sind die kleinen Satelliten und die kleinen Planeten mehr ausgesetzt, als die grossen; die von der Sonne, welche ihnen ihre Strahlen sendet, weiter entfernten Planeten mehr als die ihr näher befindlichen. Dass mit dem völligen Erstarren seines flüssigen Kerns unter Umständen auch die anfängliche Rotation eines Weltkörpers verloren gehen kann, zeigt der Mond. Analog wie für unseren Mond liegen die Verhältnisse für die übrigen Satelliten ihren Planeten gegenüber, für den Merkur und möglicherweise noch für die Venus der Sonne gegenüber.

Es ist nicht gesagt, dass die Entstehung der Planeten und ihrer Satelliten genau so vor sich gehe, wie wir es beschrieben haben. Vielmehr können die Vorgänge teilweise ineinandergreifen, so dass verschiedene Teile des Sonnensystems sich fast gleichzeitig entwickeln. Dennoch ist es wahrscheinlich, dass die Bildung der Planeten und der Satelliten wenigstens aussen beginne, innen aufhöre, weil die mittleren Temperaturen in den äussersten Schichten grössten Durchmessers doch immer geringere sind, als in den innersten. Der Saturn hat in der That aussen fertige Satelliten, innen unentwickelte Ringe, welche sich, wenn nicht äussere störende Ursachen in ihrer Wirkung überwiegen, ungefähr gegen ihre Mittellinie zusammenziehen müssen. Ist in diesen Ringen die Massenverteilung eine ungleiche, was unbedingt die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hat, so werden sich dieselben aufrollen, zu neuen Satelliten sich zusammenballen.

Der Anziehungsbereich eines sich bildenden Balls ist um so grösser, je weiter derselbe von einem anderen grösseren Anziehungszentrum entfernt ist. Es mussten also in der Regel die äusseren Planeten und Satelliten grössere Massen und grössere Abstände voneinander erhalten, als die inneren. Dabei machten sich aber unter diesen Körpern gegenseitige störende Wirkungen geltend, welchen auch die Cassinischen Gesetze ihren Ursprung verdanken.

Die Zukunft der Erde.

Die Möglichkeit organischen Lebens auf der Erdoberfläche ist an die Sonnenstrahlung gebunden; ohne Licht und Wärme von der Sonne würde hier alles Leben in kürzester Zeit erstorben sein. Es ist daher die Frage von grösstem Interesse, ob die Sonnenstrahlung in den für uns in Betracht kommenden Zeiträumen an Intensität merklich abnehme oder nicht?

H. v. Helmholtz berechnete die Sonnentemperatur zu 27 Millionen Graden, wenn sich die Sonne von unendlicher Verdünnung ihrer Substanzen bis in ihrem jetzigen Zustand ($^1/_4$ der Erddichte) verdichtet hätte, ohne jemals Licht und Wärme auszustrahlen. Dieser Rechnung legte er eine konstante Sonnendichte und die hohe spezifische Wärme des Wassers für alle Substanzen der Sonne zu Grunde. Der v. Helmholtzsche Wert ist seiner Ableitung zufolge als Mittelwert zu bezeichnen. Nähme nach Pouillets Messungen der von der Sonne ausgestrahlten Wärme diese Sonnentemperatur jährlich um etwa 2^0 ab, so müsste dieselbe gegenwärtig, vermutlich viele Millionen Jahre nach jener Entstehung der Sonne, entsprechend niedriger sein. Durch weitere Kontraktion der Sonne bis zu der Dichte unserer Erde würde aber nach v. Helmholtz „dies neue Wärmemengen entwickeln, welche genügen würden für noch weitere 17 Millionen Jahre dieselbe Intensität des Sonnenscheins zu unterhalten, welche jetzt die Quelle alles irdischen Lebens ist.“

Um nicht eine zu hohe Temperatur zu erhalten, hat v. Helmholtz die grösste spezifische Wärme in seine Rechnung eingeführt, welche in der Sonne als Mittelwert etwa in Betracht kommen könnte. Mit kleineren spezifischen Wärmen, wie sie insbesondere allen Metallen zukommen, würde er eine höhere Sonnentemperatur erhalten haben. Ausserdem sind uns aber die spezifischen Wärmen nur für verhältnismässig sehr niedrige Tem-

peraturen bekannt, und schon bei etwa 2000° wissen wir von dem wahren Werte derselben gar nichts mehr.

In unserer Ableitung der Sonnentemperaturen bleiben wir von jener Annahme unabhängig, da wir nur die Geschwindigkeiten der Sonnenmolekeln und daraus die Temperaturen berechnet haben, müssen aber dafür einer anderen Annahme uns bedienen. Wir wählten nämlich die Luftmolekeln zur Temperaturbestimmung, in der Voraussetzung, mit denselben keine höheren Sonnentemperaturen zu bekommen, als sie der Wirklichkeit entsprechen, weil nur bei wenigen Elementen das Atomgewicht kleiner ist als das mittlere Molekulargewicht der Luftmolekeln. Nach unseren Entwickelungen herrscht in der Sonnenoberfläche die absolute Temperatur Null, während dieselbe im Zentrum etwa 217 Millionen Grade beträgt, unter Annahme einer überall gleichen Sonnendichte. Die entsprechende Mitteltemperatur berechnet sich aus dem mittleren Molekulargeschwindigkeitsquadrate:

$$v_m^2 = \frac{3}{4R^3\pi}\int_0^R 4\pi r^2 v^2 dr$$

zu $^2/_5$ jener Maximaltemperatur im Zentrum. Daher erhalten wir nach unseren früheren Schätzungen 87 Millionen Grade als Mitteltemperatur, welche die Sonne allerwenigstens besitzen muss, wenn sie eine homogene Dichte hat und wenn die mittleren Molekulargewichte der dissociierten Sonnensubstanzen überall mindestens demjenigen der Luftmolekeln gleich sind.

Durch ihre Kontraktion ist die Sonne auf ihre ungeheure Temperatur gebracht worden. Von ihrer Zusammenziehung ist aber der grösste Teil beendigt; sie zieht sich nur noch um so viel zusammen, als ihrer Strahlung und Abkühlung entspricht. Für die Kontraktion ist ein von der Strahlung abhängiger Beharrungszustand eingetreten, demzufolge vielleicht noch viele Millionen Jahre die Sonnenstrahlung auf derselben Höhe erhalten werden kann, nach den Entwickelungen v. Helmholtzs.

Die Sonne erleidet aber nicht nur eine Temperaturverminderung durch Licht- und Wärmeausstrahlung, sondern sie erfährt auch eine Wärmezufuhr, nach Rob. Mayer, durch unzählige aus dem Weltall angezogene Meteoriten, welche in weit grösserer Zahl in die Sonne stürzen, als auf die Erde. Würde

die ganze, gegenwärtig von der Sonne ausgesandte Strahlung nicht durch die Kontraktion der Sonne selber, sondern durch solche in dieselbe einstürzende Meteoriten ersetzt, so müsste in einem Jahrhundert eine Masse, welche derjenigen unserer Erdkugel an Grösse gleichkommt, angezogen aus den fernsten Teilen des Anziehungsbereiches der Sonne, in dieselbe stürzen. Es ist dies eine überaus grosse Masse, dennoch nur $^1/_{324000}$ der Sonnenmasse, so dass also in 100 Jahren die Anziehungskraft der Sonne um diesen Bruchteil sich vergrössern würde [1]).

Die Frage, ob die nach Rob. Mayers meteorischer Theorie der Sonne zugeführte Wärme gegenwärtig deren Wärmeausfall durch Strahlung vollständig zu ersetzen vermöge, können wir nicht ohne weiteres mit Ja oder mit Nein beantworten. Würde jene grosse Masse von Meteoriten, wie oben erwähnt, angezogen aus Räumen weit jenseits der Neptunsbahn, fortwährend in die Sonne stürzen, nämlich etwa 60 860 Trillionen Kilogramme im Jahre, so träfe nur ein so grosser Bruchteil jener Masse unterwegs auf unsere Erde, als der Erdquerschnitt kleiner ist als die mit der Sonne konzentrische Kugeloberfläche, auf welcher die Erde ihre Bahn zieht; die Rechnung ergiebt 27,9 Billionen Kilogramme, welche im Jahre auf die ganze Erdoberfläche fallen müssten. Auf jedem Quadratmeter der Erdoberfläche würden also im Jahre 54,5 Gramm Masse sich ablagern; bei der mittleren Erddichte $\delta = 5{,}6$ ergiebt jene Masse auf die Erdoberfläche gleichmässig ausgebreitet eine Schichtdicke von nur einem hundertstel Millimeter im ganzen Jahre, welche Schichte selbstverständlich schon durch einen einzigen Regenfall an vielen Stellen der Erdoberfläche wieder weggespült würde [2]).

Nach dieser Rechnung erscheint es uns nicht mehr undenkbar, dass die Sonnenstrahlung durch die in die Sonne hineinstürzenden Meteoriten auch jetzt noch vollständig aufgebracht

---

[1]) Eine Folge dieser vergrösserten Anziehungskraft der Sonne wäre eine verkleinerte Umlaufszeit der Planeten um die Sonne; diese Aenderung bemerken wir nicht leicht, wenn die Rotationsdauer der Erde um denselben Bruchteil abnimmt, vermöge der Anziehung zahlreicher in der Ekliptik um die Sonne kreisender Meteoriten des Zodiakallichts durch die Erde (vgl. S. 146).

[2]) Wegen der Eigenbewegung der Erde relativ zu den Meteoriten ergeben sich nur um weniges grössere Zahlen.

werde. Die entsprechend kleinere Masse, welche dann jährlich auf die Erde stürzen müsste, kann nämlich unseren Beobachtungen grösstenteils entgehen. Denn die Gesamtzahl der kleinsten Meteoriten, der „kosmische Staub", wird unbemerkt in unsere Atmosphäre gelangen und mit Niederschlägen auf die Erdoberfläche fallen. Nur grössere Meteoriten nehmen wir als Sternschnuppen, noch grössere als Meteore wahr, bei welch letzteren häufig der Steinfall direkt nachgewiesen worden ist.

Wird die ausgestrahlte Wärme der Sonne nicht vollständig durch in sie hineinstürzende Meteoriten ersetzt, so geschieht dies doch sicher zum grossen Teile. Dabei wird dieses Hineinstürzen nicht ein ganz gleichmässiges, sondern ein mehr oder weniger dem Zufall anheimgegebenes sein, so dass in gewissen Jahren oder Jahrtausenden viel grössere Massen in die Sonne stürzen, als in anderen. Solche Schwankungen des Betrags der einstürzenden Massen haben Aenderungen der Sonnenstrahlung im Gefolge, welche hinwiederum entsprechend grosse klimatische Umwälzungen auf der Erdoberfläche nach sich ziehen können.

Würde einstens weder durch das Hineinstürzen von Meteoriten in die Sonne, noch durch die Kontraktion der letzteren weitere Wärme erzeugt und ausgestrahlt werden, so müsste das organische Leben auf der Erde sehr bald aufhören. Ehe diese Zeit herannahen wird, steht aber den Planeten vielleicht ein anderes Schicksal bevor: sie werden selber sich in die Sonne stürzen bezw. in dieselbe einlaufen. Die Planeten ziehen nämlich um die Sonne kleinere und immer kleinere Kreise, wegen des widerstandleistenden Aethers [1]) und wegen der zunehmenden Sonnenmasse. Die Flutwirkungen auf ihren Oberflächen werden immer grösser. Dadurch verlangsamen sich schliesslich ihre Rotationen. Die Planeten, einer nach dem anderen, kommen allmählich der Sonne so nahe, dass sie sich stärker erhitzen, dass ihre Atmosphären sich ausdehnen. Viele feste Körper werden flüssig, Flüssigkeiten verdampfen, wenn bis dahin die

---

[1]) Der Entstehungsweise des Planetensystems zufolge wird der Aether in demselben durch alle rotierende Masse, durch die Planeten, das Zodiakallicht, die Sonne, teilweise mitgerissen; er wird also diesen Rotationsbewegungen weniger Widerstand entgegensetzen, als wenn er vollkommen ruhend wäre.

Sonnentemperatur nicht bedeutend herabgesunken ist. Wird der Sonnenabstand für einen Planeten immer kleiner, so kann dieser zuletzt seine selbständige Rotationsbewegung um eine eigene Achse ganz einbüssen, wie ein Mond seinem Planeten gegenüber.

Auf der Sonnenkugel bewirkt der ganz nahe kreisende Planet gleichfalls Fluterscheinungen. Um die Sonne laufen der Planetenstellung entsprechend zwei Flutwellen, welche zuletzt viel schneller als die Sonne selber um ihre Achse kreisen. Denn die fortschreitende Geschwindigkeit der Planeten in unmittelbarer Sonnennähe wird eine sehr grosse im Vergleich zu der Umfangsgeschwindigkeit der rotierenden Sonne; sie kann etwa 200mal grösser werden, als diese, und 433 Kilometer [1]) in der Sekunde betragen. Diese Flutwellen auf der Sonne suchen die Rotationsgeschwindigkeit derselben zu vergrössern. Reicht endlich die Atmosphäre des Planeten bis an die Sonne heran, so fliesst sie allmählich in die letztere hinein. Sie wirkt gleichfalls auf Beschleunigung der Rotationsbewegung der Sonne hin, weil sie schneller im gleichen Sinne vorwärts sich bewegt, als der Sonnenäquator. Vermöge ihrer ausserordentlich grossen fortschreitenden Geschwindigkeit hat sie eine Temperatursteigerung der Sonne zur Folge, welche ihren Höhepunkt erreicht, wenn der ganze Planet — sei nun ein Teil desselben fest geblieben, sei er ganz gasförmig geworden — in die Sonne hineingestürzt ist.

Mit der Annäherung der Planeten an die Sonne schreitet aber die Abkühlung der ersteren, sowie möglicherweise auch diejenige der letzteren gleichzeitig fort. Ob also bei der langsamen Annäherung der Erde an die Sonne die Abkühlung dieser beiden Weltkörper wirksamer auf die Abkühlung der Erdoberfläche hinarbeitet, oder ob umgekehrt die durch die grössere Sonnennähe der Erde zu statten kommende Sonnenstrahlung eine verstärkte Erwärmung der Erdoberfläche zur Folge hat, kann nicht zum voraus bestimmt werden, solange wir die Veränderungen dieser Erscheinungen nicht genau messend zu verfolgen vermögen. Eine langsame und allgemeine Aenderung der Mitteltemperaturen der ganzen Erde und damit verbunden eine Aenderung ihres ganzen Zustandes wird aber zu stande kommen, und diesen

---

[1]) Vgl. S. 121.

Aenderungen werden sich ihre Lebewesen, Pflanzen und Tiere, anzupassen haben.

Eine grosse Epoche rascherer Veränderungen wird eintreten, wenn der innerste Planet, der Merkur, welcher ähnlich wie der Mond seine selbständige Rotation um eine eigene Achse bereits eingebüsst hat, in die Sonne einläuft. Zuerst werden ungeheure Dampfwolken, welche sehr rasch um die Sonne kreisen, bemerkbar werden und die Sonne stellenweise verdunkeln, ihre Strahlungsfähigkeit herabsetzen. Je grösser der in Gasform übergeführte Teil des Planeten ist, um so grösser werden diese Wolken, und es ist nicht undenkbar, dass sich dieselben zu einem ganzen die Sonne umschliessenden Gasringe zusammensetzen, dass ein Teil der Sonnenstrahlung in diesem Gasring absorbiert wird und dass dadurch auf unserer Erdoberfläche eine entsprechende Kälte entsteht. Wenn auch eine solche Auflösung des Merkur vielleicht nur wenige Jahre dauern würde, so könnten doch deswegen auf der Erde vorübergehende Temperaturabnahmen auftreten von grösstem Einflusse auf die meteorologischen Erscheinungen und auf die Lebewesen.

Ist einmal der Merkur vollständig in die Sonne eingelaufen und haben sich hierauf die Temperaturen ausgeglichen, so wird die Gesamttemperatur der Sonne höher sein als zuvor. Die früheren Verhältnisse einer starken Licht- und Wärmeausstrahlung werden zum mindesten wieder hergestellt sein, so dass auch die Erde allmählich ihren früheren Zustand wieder annehmen wird.

Noch grössere Veränderungen auf der Erdoberfläche werden durch das Einlaufen des Planeten Venus in die Sonne hervorgerufen werden; denn die Masse der Venus ist etwa 20mal grösser als diejenige des Merkur, sie ist nahezu so gross wie die Masse der Erde selber. Wie viele Millionen Jahre aber verstreichen mögen, bis zuerst der Merkur, dann die Venus von der Sonne aufgenommen werden, entzieht sich vorerst noch jeder Berechnung.

Früher als die beiden beschriebenen dürfte ein anderes grosses Ereignis eintreten und die Erdenbewohner erschrecken: das Einlaufen des Mondes in die Erde. Denn die Planeten werden in ihren Bahnen nur durch den Aether als widerstehendes Mittel gehemmt, nicht durch die um die Sonne kreisenden

Meteoriten. Der Mond dagegen, welcher um die Erde seine selbständigen Kreise zieht, stösst gelegentlich auf die auch in der Erdentfernung noch zahlreich um die Sonne kreisenden Meteoriten des Zodiakallichtes. Er wird durch beide Wirkungen in seiner Bewegung stärker aufgehalten, als nur durch die Wirkung des widerstehenden Mittels, des Aethers, allein. Demzufolge nähert sich der Mond der Erde verhältnismässig rascher, als die Planeten der Sonne sich nähern. Seine Umlaufszeit wird kleiner. Es kommt eine Zeit, in welcher der Mond gleich rasch seinen Umlauf um die Erde vollendet, wie die Erde eine Umdrehung um ihre eigene Achse. Dann werden die Bewohner eines Erdteils den Mond gar nicht, ihre Antipoden werden ihn immer sehen. Flut- und Ebbewirkungen sind nicht mehr wahrnehmbar.

Gelangt der Mond in noch kleinere Entfernung von der Erde, so läuft er rascher um dieselbe, als einmal im Tage. Er muss dann im Westen auf-, im Osten untergehen und erzeugt wiederum Flutbewegungen, welche nun aber in diesem veränderten Sinne umlaufen und die Rotationsbewegung der Erde zu beschleunigen suchen. Immer schneller kreist der Mond um die Erde. Zuletzt vollführt er einen ganzen Umlauf nahezu in einer Stunde, bewirkt ungeheure Springfluten. Erreicht er endlich unsere Atmosphäre, so wird er vermöge seiner grossen Geschwindigkeit von etwa 8 Kilometern in der Sekunde, welche diejenige unserer schnellsten Geschosse immer noch fast um das zehnfache übertrifft, nicht nur furchtbare Stürme in ihr hervorrufen, sondern er wird auch durch den Widerstand der Atmosphäre oberflächlich sich stark erhitzen, Funken sprühen, wie ein ungeheures Meteor. Er wird die Atmosphäre selber auf höhere Temperaturen bringen, in raschem Kreisen vielleicht noch ein-, zweimal um die Erde fliegen, immer näher, dann in die Erde stürzen, sie und sich selber durch den Stoss so sehr erhitzend, dass beide Körper zusammenschmelzen, eine einzige neue Kugel bilden. Die Temperatursteigerung wird indessen vielleicht nicht ausreichen, um die ganze Erdrinde wieder glühend zu machen. Dagegen wird diese sicher in Stücke zerrissen, das glühend-flüssige Erdinnere wird teilweise an die Oberfläche treten, eine neue stark veränderte Erdrinde muss entstehen. Auch wird nahezu alles Wasser wieder verdampfen.

Die Vermutung, dass nach einem solchen Einlaufen des Mondes in die Erde alles organische Leben auf der letzteren erstorben wäre, ist indessen nicht ganz gerechtfertigt. Denn die grössten der erwähnten Vorgänge spielen sich hauptsächlich um den Erdäquator ab. Die dort entsprechend erhitzten Gase und Dämpfe steigen in die Höhe solange, bis sie sich auf die absolute Nulltemperatur abgekühlt haben. Sie fallen dann auf die Erdkugel zurück, werden indessen, wie dies früher gezeigt wurde, gegen die Pole hinfliessen, erst an den Polen als verhältnismässig kältere Luftströme auf die Erdoberfläche sich herniedersenken. Wegen solcher kälterer Luftströme wird es nach jenem gewaltigen Ereignisse auf der Erde möglicherweise doch noch eine Zone geben, in welcher Lebewesen fortkommen können. Die Wärmeleitungsfähigkeit der Erdrinde selber ist nämlich so gering, dass der Erdboden an den Polen vom Erdinneren her keine wesentlich stärkere Wärmezufuhr erhielte, auch wenn durch das Hineinstürzen des Mondes in die Erde die ganze heisse Zone vorübergehend in glühend-flüssigen Zustand versetzt worden sein sollte.

Dass Kometen jemals der Erde einen sehr grossen Schaden zufügen könnten, haben wir nicht zu befürchten, solange es sich bei denselben nur um die uns bis jetzt bekannten Gebilde handelt. Denn die Kometenmassen sind nach den bisherigen Erfahrungen sehr klein, noch viel kleiner als die Mondmasse; und überdies ist die Wahrscheinlichkeit, dass gerade ein Kometenkern unsere Erdkugel treffe, eine ungemein geringe.

Weltkörper, von welchen die Zukunft der Erde noch abhängen kann, sind die unserem Sonnensystem benachbarten Sterne. Aus genauen Messungen der Sternörter und der Eigenbewegungen der Sterne ist geschlossen worden, dass die Sonne mit ihren Planeten im Weltall sich bewegt, in der Richtung gegen das Sternbild des Herkules hin, mit einer Geschwindigkeit von etwa 25 Kilometern in der Sekunde. Der Stern η Herkulis ist von uns 8 Lichtjahre entfernt. Das Licht mit seiner Geschwindigkeit von 300 000 Kilometern in der Sekunde braucht 8 Jahre, bis es von jenem Sterne zu uns gelangt ist. Wenn also die Sonne ihre Bewegung beibehielte und wenn η Herkulis keine Eigenbewegung besässe, so würde jene in ungefähr $8 . 300\,000/25 = 96\,000$ Jahren bei diesem Sterne angelangt sein.

Nun giebt es andere benachbarte Sterne, welche in der That eine starke Eigenbewegung in der Richtung gegen die Sonne hin (im Visionsradius) besitzen. Berücksichtigen wir nur diese Komponente der Bewegung, so finden wir aus den Zahlenwerten für die Entfernung und für die Eigenbewegung des betreffenden Sternes, dass einige der hellsten Sterne in nicht viel grösseren Zeiträumen, als wir unter den gemachten Voraussetzungen für η Herkulis berechneten, wirklich in der Sonnennähe ankommen würden: Atair würde in 130 000 Jahren, der mächtige Sirius, welcher mit seinem dunkeln Begleiter zusammen eine über 20mal grössere Masse als unsere Sonne besitzt, in 150 000, Castor in 160 000, die Wega in 400 000 Jahren bei der Sonne angelangt sein.

Anderseits entfernen sich einige der Sonne verhältnismässig sehr benachbarte Sterne, wie z. B. der Aldebaran, von derselben. Nehmen wir an, die eine dieser beiden Sonnen habe ihre Bewegungsrichtung im Laufe der Zeiten etwas geändert, unsere Sonne komme in Wirklichkeit aus der Nähe des Aldebaran, welcher 6 Lichtjahre von uns entfernt ist und eine grosse von uns weg gerichtete Geschwindigkeit besitzt, nämlich 49 Kilometer in der Sekunde! Es wäre dann unser Sonnensystem vor etwa $6 . 300 000/49 = 37 000$ Jahren in unmittelbarer Nähe, also auch im Anziehungsbereiche des Aldebaran gewesen. Wenn demnach die astronomischen Messungen die wahre fortschreitende Geschwindigkeit des Sonnensystems im Weltall ergeben haben, so müssen wir schliessen, dass die Sonne mit benachbarten Sternen in Wechselbeziehungen steht, dass sie sich gewissermaassen zwischen benachbarten Sternen hindurchschlängelt. Sie bildet mit einigen derselben ein Sternsystem, welches man dreifachen Stern nennt, wenn es zwei Sterne sind, oder man nennt es mehrfachen Stern, wenn es mehr als zwei Sterne sind, in deren Anziehungsbereich die Sonne sich bewegt. Das letztere entspricht der Wahrscheinlichkeit am meisten.

Unsere Annahme, die Sonne und der Stern, welche wir als zunächst benachbart ins Auge fassen, bewegen sich direkt gegeneinander, so dass sie bei ihrer Annäherung zuletzt ineinander stürzen, ist nun eine willkürliche und eine unwahrscheinliche. Vielmehr werden sich diese Sterne einander nur nähern, schon wegen der starken Eigenbewegung der Sonne. Sie werden in

mehr oder weniger lang gestreckten Ellipsen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisen, werden sich nach der Annäherung wieder voneinander entfernen, wenn sie zusammen einen gewöhnlichen Doppelstern bilden. Ihre Bahnen werden Kurven höheren Grades sein, wenn sie einem mehrfachen Sterne zugehören.

Es ist also nicht nur möglich, sondern sogar höchst wahrscheinlich, dass die Sonne mindestens mit einem der ihr benachbarten Sterne um das ihnen gemeinschaftliche Gravitationszentrum in grossen Kurven kreist. Die physikalischen Veränderungen, welche das Eintreten eines Sternes in unser Sonnensystem auf der Erde hervorrufen muss, lassen sich ungefähr übersehen. Die Bewohner der Erde werden den Durchmesser der zweiten Sonne schon bestimmen können, wenn dieselbe noch weit jenseits des Neptuns sich befindet. Bei der Annäherung wird jene Sonne ihre Strahlen immer stärker wirken lassen. Sie wird aber in einer so grossen Erdnähe, dass ihre Wirkungen auf die Erde überaus kräftige werden, nur etwa ein Jahr, höchstens einige Jahre bleiben. Träte dieselbe zum Beispiel senkrecht zu der Ekliptik durch das Planetensystem hindurch, etwa von der Seite des Nordpols her, so würde zuerst unsere nördliche kalte Zone von dieser neuen Sonne Licht und Wärme erhalten; dann, nach dem Durchtritt durch die Ekliptik würde umgekehrt der südlichen kalten Zone die neue Strahlung zu statten kommen. Den Lebewesen der heissen Zone aber würde eine solche doppelte Sonnenwirkung zum Teil verhängnisvoll werden, besonders wenn jene andere Sonne eine grössere Masse, viel höhere Temperaturen besässe, oder wenn sie näher herankäme, als unsere Sonne.

Die durch Mitwirkung einer zweiten Sonne erhöhte Sonnenwärme zieht entsprechende meteorologische Veränderungen nach sich. Die neu hinzukommende Gravitationskraft bringt Störungen der Planeten in ihren Bahnen, auch Störungen in den Satellitenbahnen und damit neue Fluterscheinungen hervor. Diese Gezeiten wirken unter Umständen auf die betreffenden Planeten, auch auf unsere Erde, verheerend ein. Wenn aber nicht starke Annäherungen an die neue Sonne eintreten, so können die Bahnstörungen später wieder nahezu verschwinden. Hat sich eine solche zweite Sonne bis jenseits der Neptunsbahn entfernt, so werden ihre Wärmewirkungen auf die Erde fast unmerklich.

Die behandelten Umwandlungen, welche die Erde im Laufe der Zeiten durchgemacht hat oder noch durchzumachen haben wird, sind zum Teil allmähliche, zum Teil sind es rasche Umwälzungen, denen nachher wieder lange dauernde Perioden fast unmerklicher Veränderungen folgen. Auch die Erdoberfläche erfährt dabei bald eine langsame, zum Beispiel von Erosionswirkungen begleitete, bald eine rasche Umgestaltung. Die meteorologischen Verhältnisse der Atmosphäre ändern sich gleichfalls. Eiszeiten mit grossartigen Gletscherausdehnungen mögen in sehr geringen Breiten, tropische Klimata in sehr hohen Breiten vorübergehend vorkommen.

Den langsamen Aenderungen des Zustandes der Erde entsprechend werden auch ihre Lebewesen nur geringe Wandlungen erfahren. Die Lebensbedingungen bleiben nahezu die gleichen, und somit liegt kein Grund vor, dass ganze Arten sich ändern. Wird dagegen der meteorologische Zustand der Erde durch eines jener erläuterten grossartigen Ereignisse in grossem Maassstabe geändert, wenn auch nur für einen kurzen Zeitraum von wenigen Jahren, so müssen doch unsere Lebewesen dadurch stark beeinflusst werden. Arten, deren Organe den veränderten Lebensbedingungen absolut nicht genügen, sterben aus, verschwinden vollständig. Arten, welche in anderen neuen Gebieten der Erde noch ein genügendes Fortkommen finden, wandern in diese aus, wenn sie in irgend einer Weise zur Auswanderung befähigt sind. Endlich werden alle Arten, welche mit oder ohne Auswanderung die gefahrbringenden Umwälzungen überleben, ihre Organe während dieser Vorgänge den jeweiligen Lebensbedingungen so viel als möglich anzupassen suchen. Es ändern sich also die Arten in den kurzen Epochen grossartiger Umwälzungen, starker Veränderungen des meteorologischen Zustandes der Erde sehr stark, dagegen sehr wenig in den langen Zeiträumen, in welchen jener Zustand nahezu konstant bleibt. Aus diesem Grunde sind unter den paläontologischen Funden die von der Descendenztheorie verlangten Zwischenglieder zwischen den verschiedenen Arten, welche die beste Auskunft über die Entwickelungsgeschichte der Pflanzen- und Tierwelt zu geben vermöchten, so selten vorhanden.

Die Sternenwelt.

Die sichtbaren Fixsterne sind selbstleuchtende Weltkörper, also Sonnen wie unsere Sonne. Ueber ihre Masse kann nicht viel Bestimmtes ausgesagt werden. Man vermutet, die Masse der meisten dieser Sterne sei ungefähr ebensogross wie diejenige unserer Sonne. Nur bei wenigen Sternen ist die Berechnung ihrer Massen wirklich gelungen. Die Zahl der Sterne beträgt wohl mindestens 100 Millionen. Die Masse aller wägbaren Materie im Weltall mag vielleicht über 1000millionenmal grösser sein, als diejenige der Sonne, wenn man Nebel und dunkle Materie mit berücksichtigt.

Alle Weltkörper üben Gravitationskräfte aufeinander aus: sie ziehen sich an. Der Aether wirkt als widerstehendes Mittel. Wir nehmen vorerst an, nur diese Kräfte seien auf benachbarte Weltkörper wirksam. Wenn zwei derselben in ihren gegenseitigen Anziehungsbereich gelangen, so stürzen sie sich früher oder später ineinander und geben zur Entstehung eines Rotationssystemes — wenn sie gross genug waren, zur Entstehung einer Sonne umgeben von Planeten mit Satelliten — Veranlassung, wie wir dasselbe früher beschrieben haben. In diesem Rotationssysteme wandeln die entstandenen Planeten und Satelliten ihre Bahnen. Sie ziehen immer engere Kreise um ihre bezüglichen Anziehungszentra, laufen schliesslich in dieselben ein. Jeder Zusammensturz von Weltkörpern, auch derjenige von zwei dunkeln derselben, wird für die Aussenwelt als Aufleuchten sichtbar, wenn genügende Erhitzung dabei stattfindet. Das Ende des Rotationssystems ist eine einzelne Sonne, welche vermöge der immerwährenden Licht- und Wärmeausstrahlung durch undenkliche Zeiten hindurch sich abkühlt, dunkel und unsichtbar wird.

Wenn zwei solche Weltkörper in gegenseitigen Anziehungsbereich gekommen sind, so vereinigen sie sich also zu einem Sterne, zu einer Masse. Die Zahl der Weltkörper nimmt folglich ab, die Masse der einzelnen Weltkörper nimmt zu. Weil in der ganzen Sternenwelt diese Gravitationswirkungen vorhanden sind, zieht sich die Gesamtmasse aller vorhandenen Weltkörper, der Sterne, zusammen, gegen ein gemeinschaftliches Zentrum hin. Das Zusammenstürzen zweier Weltkörper ereignet sich immer häufiger. Ist die Anzahl derselben sehr klein geworden, so haben wegen der vergrösserten Massen, welche in engen Räumen konzentriert sind, die Gravitationswirkungen der Weltkörper aufeinander zugenommen. Ausserdem sind die grossen Abstände der äussersten Sterne voneinander vermindert worden, so dass die Weltkörper mit vermehrter Heftigkeit gegeneinander stürzen und immer gewaltigere Rotationssysteme bilden.

Als einen der letzten Entwickelungsabschnitte dieser Kontraktionen denken wir uns ein ungeheures Rotationssystem, eine Zentralsonne, welche nahezu alle vorhandene Masse, also ungefähr die 1000millionenfache Masse unserer Sonne in sich vereinigt hat und welche allenfalls noch umgeben ist von Planeten, Satelliten und anderen Trabanten. Besitzt diese Zentralsonne die nämliche Dichte wie unsere Sonne, so ist ihr Durchmesser 1000mal grösser, und ebenso die Einlaufgeschwindigkeit eines angezogenen Körpers in dieselbe 1000mal grösser, als dies bei unserer Sonne der Fall ist. Irgend ein Körper, aus verhältnismässig sehr grosser Entfernung von ihr angezogen und direkt in sie stürzend, wird also mit einer Endgeschwindigkeit von etwa 612 000 Kilometern (vgl. S. 123) in der Sekunde in ihrer Oberfläche ankommen, wenn der Aetherwiderstand ohne wesentlichen Einfluss ist.

Die Endgeschwindigkeit solcher in die Zentralsonne stürzender Körper ist schon nahezu anderthalbmal so gross als die von uns früher berechnete fortschreitende Geschwindigkeit der Aetheratome selber. Wir ersehen daraus, dass die Zentralsonne andere Sterne, welche doch etwa noch im Raume vorhanden sind, mit ungeheurer Gewalt an sich zieht. Unter der Voraussetzung jener Widerstandslosigkeit des Aethers werden solche Sterne mit einer Endgeschwindigkeit, welche wesentlich grösser

ist als die Lichtgeschwindigkeit, in die Zentralsonne einlaufen, wenn sie direkt in dieselbe stürzen. Aber auch das neue dadurch wieder erzeugte Rotationssystem wird sich zusammenziehen. Ein einziger Weltkörper wird das Ende unserer ganzen Sternenwelt sein, ein sehr grosser Zentralkörper, welcher durch Licht- und Wärmeausstrahlung sich immer mehr abkühlt, sich zusammenzieht.

Wird dieser Zentralkörper schliesslich ein kalter starrer Körper werden? Steht unserem Weltall wirklich ein solches Ende bevor? Mit dem Prinzip von der Erhaltung der Energie scheint dasselbe nicht recht vereinbar zu sein. Untersuchen wir also die einzelnen Vorgänge genauer! Sehen wir zu, wohin denn die Energie der fortwährenden Licht- und Wärmestrahlung gekommen ist!

Dem Aether haben wir früher (S. 5) Eigenschaften beigelegt, welche in jeder Beziehung denjenigen der übrigen Substanzen analog sind. Wir haben den Aether kurzweg selber als Materie bezeichnet. Als solche ist der Aether in seiner Menge beschränkt. Es ist nicht der ganze Raum, welchen wir unendlich gross annahmen, mit Aether angefüllt. Der Aether unterliegt ferner den Wirkungen der Gravitationskräfte. Er sammelt sich also um die übrige, die wägbare Materie an, ist nicht im ganzen Raume beliebig verteilt. Der freie Weltäther befindet sich im gasförmigen Aggregatzustande.

Wir betrachten den Aether, welcher den weiter oben ins Auge gefassten letzten Zentralkörper des Weltalls umgiebt. Um diesen kugelförmig gedachten Weltkörper wird sich jener, der Gravitation zufolge, als konzentrische Kugel lagern, eine „Aethersphäre“ bilden. Wenn der Aether bis ins Unendliche oder doch, verglichen mit dem Radius dieses Zentralkörpers, in ausserordentlich grosse Entfernungen reichte, so würde die mittlere fortschreitende Geschwindigkeit der Aetheratome, welche die Oberfläche des Zentralkörpers berühren, etwa 612 000 Kilometer in der Sekunde betragen (S. 163). Je kleiner die wirkliche Geschwindigkeit der Aetheratome ist, um so weniger weit erstreckt sich jene Aethersphäre. Von der Oberfläche des Zentralkörpers nach aussen nimmt die Aetheratomgeschwindigkeit stetig ab; an der äussersten Oberfläche der Aethersphäre sind die Geschwindig-

keiten der Aetheratome relativ zueinander Null, analog wie bei jedem Gasball.

Aetherwellenbewegungen, seien es optische oder elektrische, welche von der Oberfläche des Zentralkörpers mit einer Geschwindigkeit von über 417 000 Kilometern ausgesandt werden, wenn an dieser Oberfläche eine Aetheratomgeschwindigkeit von 612 000 Kilometern in der Sekunde herrscht, pflanzen sich immer langsamer fort, je weiter sie sich vom Zentralkörper entfernen. In einem gewissen Abstande vom Zentralkörper werden sie unsere im Sonnensysteme gemessene Lichtgeschwindigkeit, in einem entsprechend grösseren Abstande nur noch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der uns umgebenden Luft, endlich an der äussersten Oberfläche der Aethersphäre überhaupt keine merkliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit mehr besitzen. An der Oberfläche der Aethersphäre werden die Strahlen reflektiert, sie kehren an ihren Ausgangspunkt, in den Zentralkörper zurück, so weit sie nicht vom Aether selber absorbiert, in andere, unregelmässige Aetherbewegungen umgewandelt worden sind.

Ein leuchtender Weltkörper sendet nicht nur solche mehr oder weniger regelmässige Aetherwellenbewegungen aus, sondern auch unregelmässige Aetherbewegungen; nicht nur Lichtstrahlen, welche auf den getroffenen wägbaren Körpern als Licht und Wärme empfunden werden, sondern auch Wärmebewegungen. Die unregelmässigen Aetherbewegungen, welche durch die vermöge ihres Wärmezustandes hin- und herzuckenden Molekeln des erhitzten Weltkörpers erzeugt werden, gehen nur zu einem sehr geringen Teile an entferntere wägbare Substanzen über, weil gleichzeitige Antriebe der Molekeln dieser Substanzen nach allen möglichen Richtungen fast gleich wahrscheinlich sind, so dass sich als Summe aller Wirkungen annähernd Null ergiebt. Die vom erhitzten Weltkörper unmittelbar durch seine Wärmebewegung ausgestrahlte, auf den umgebenden Aether übertragene Energie muss demnach im Aether selber aufgespeichert werden. Weil die hin- und herzuckenden Molekeln im Aether einen Widerstand finden, geben sie einen Teil ihrer Energie an den Aether ab, bringen die Aetheratome selber in einen lebhafteren Bewegungszustand, in heftigere Hin- und Herzuckungen [1]). Wie

[1]) Dementsprechend wird die Lichtgeschwindigkeit und dadurch die Wellenlänge des Lichtes geändert!

feste Körper, in Gasen bewegt, in diesen Wärme erzeugen, so erzeugen Molekeln, im Aether bewegt, in diesem Elektrizität (vgl. S. 118). Jene durch die unregelmässige Wärmebewegung des erhitzten Körpers auf den Aether übergegangene, in denselben ausgestrahlte Energie findet sich in diesem als elektrische Energie wieder. Molekeln, welche solche Energie aussenden, verhalten sich wie elektrisierte Körper. Die den leuchtenden, erhitzten Zentralkörper umgebende Aethersphäre ist ein „elektrisches Feld“, weil in ihrer Mitte fortwährend elektrische Energie erzeugt wird, welche nach aussen abströmt.

Von der vom Zentralkörper ausgestrahlten Lichtenergie geht ihm also nur ein Teil bleibend verloren, dagegen alle ausgestrahlte, in elektrische Energie umgewandelte Wärmeenergie. Nach Maassgabe dieser vom Zentralkörper bezw. von seinen Molekeln ausgestrahlten elektrischen Energie, welche eine fortgesetzte Vergrösserung der Aethersphäre zur Folge hat, nehmen die zwischen den Molekeln wirksamen elektrischen Kräfte bestimmte Werte an. Demzufolge wirken auf diese Molekeln zweierlei verschiedenartige Kräfte: die Gravitationskräfte, welche sie zusammenzuballen suchen, und die elektrischen abstossenden Kräfte, welche sie auseinander zu treiben bestrebt sind.

Durch Energieausstrahlung kühlt sich der Zentralkörper immer mehr ab. Dabei ändern sich die zwischen den Molekeln wirksamen elektrischen Kräfte in bestimmter, nicht nur von den Molekularabständen, sondern auch von den Molekulargeschwindigkeiten abhängiger Weise. Die Gravitationskräfte zwischen denselben sind dagegen nur von den Abständen der Molekeln, gar nicht von ihren Geschwindigkeiten abhängig. Bleiben nun die Gravitationskräfte stets grösser als die elektrischen Kräfte, so zieht sich der Zentralkörper bei seiner Abkühlung beständig zusammen. Alle seine kinetische Energie geht für ihn verloren, wird allmählich in kinetische Energie des Aethers, in elektrische Energie desselben umgewandelt, und wenn diese Umwandlung vollendet ist, tritt absolute Ruhe für alle wägbare Materie ein. Der Aether allein ist in um so lebhafterer Bewegung.

Wäre dieses ein möglicher Zustand des Weltalls, so würde derselbe, einmal erreicht, nie mehr von selber sich ändern können; er entspräche nämlich einem stabilen Gleichgewichtszustande, welcher von da an bis in alle Ewigkeit bestehen bliebe, und

wir müssten uns fragen, wie denn einstens der Anfangszustand hervorgebracht worden sei? Nur an eine den Naturgesetzen nicht gehorchende schöpferische Kraft könnten wir denken, an eine Allmacht, welche aus jenem Endzustande wieder einen neuer Entwickelungen fähigen Anfangszustand erschüfe, welche dem Aether einen Teil seiner Energie entrisse, dieselbe der wägbaren Materie zuteilte. Dem Naturforscher ist eine solche Lösung des Rätsels fremd!

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Zentralkörper bei seiner Bildung durch Zusammenstürzen aller wägbaren Massen einen Zustand so heftiger Bewegung seiner Molekeln durchmacht, dass dabei die Ausstrahlung elektrischer Energie diejenige Grenze erreicht, bei welcher die elektrische Abstossung der Molekeln untereinander grösser wird, als die Wirkung der Gravitation zwischen denselben. In diesem Zeitpunkte hört das Zusammenballen auf. Es beginnt die Ausdehnung. Die Molekeln entfernen sich voneinander, weiter und weiter. Da ihre Aetherhüllen den heftigen Bewegungszustand, welcher ihrer Elektrisierung entspricht, eine Zeitlang beibehalten und also mit sich nehmen, erweitert sich bei ihrem Auseinanderfahren die ganze Aethersphäre; denn sie bringen die freien Aetheratome in denjenigen Regionen, in welche sie sich begeben, auf grössere Geschwindigkeiten als sie zuvor besassen. Im Inneren der Fläche, welche die Molekeln bei ihrer Zerstreuung eben noch einhüllt, wird dagegen nahezu ein gleichmässiges unelektrisches Feld erzeugt, in welchem alle freien Aetheratome ungefähr die nämlichen mittleren fortschreitenden Geschwindigkeiten haben.

Die Molekeln entfernen sich nicht bis ins Unendliche voneinander. Denn dadurch, dass sie stets in Regionen sich bewegen, in welchen die freien Aetheratome geringere fortschreitende Geschwindigkeiten und geringere elektrische Energie besitzen, als ihrem eigenen Zustande entsprechen würde, werden sie veranlasst, diesen Atomen fortgesetzt einen Teil ihrer elektrischen Energie abzugeben. Sie strahlen elektrische Energie aus, werden dadurch immer schwächer elektrisch. Die abstossenden Kräfte, welche sie auseinander treiben, werden schliesslich kleiner als die sie zusammenziehenden Gravitationskräfte. Ihre nach aussen gerichteten Geschwindigkeiten nehmen ab, jedoch um so langsamer, je weiter die Molekeln bereits auseinander getrieben

sind, weil bei den grossen Abständen die Gravitationskräfte entsprechend schwächere Wirkungen hervorbringen.

Endlich haben die Molekeln ihre grössten Abstände voneinander erreicht. Sie gleichen allmählich die kinetische Energie ihrer Aetherhüllen mit dem umgebenden freien Aether so weit aus, bis dasjenige Gleichgewicht hergestellt ist, bei welchem sie gegen diesen unelektrisch sind (S. 69). Nun stossen sie sich gar nicht mehr ab, ziehen sich nur noch an nach Maassgabe der Wirkung der Gravitation. Die Aethersphäre wird etwa in diesem Zeitpunkte auf ihre grösstmögliche Ausdehnung gebracht.

Weil die Molekeln vermöge der abstossenden elektrischen Kräfte so weit auseinander getrieben worden sind, dass sie ihre fortschreitenden Geschwindigkeiten relativ zu einander ganz eingebüsst haben, sind sie überall auf der absoluten Temperatur Null angelangt. Sie leuchten nicht mehr. Es herrscht absolute Finsternis. Der Druck an jeder Stelle dieser unermesslich ausgedehnten Gasmasse ist unmessbar klein, weil Zahl und Geschwindigkeit der in jedem Raume enthaltenen Molekeln entsprechend klein sind. Die wägbare Materie besitzt keine kinetische Energie mehr, dafür einen grossen Vorrat an potentieller Energie. Der freie Aether hat bedeutende Energiemengen aufgenommen, potentielle sowohl als auch kinetische Energie.

Auf die unelektrischen Molekeln wirkt als bewegende Kraft nur noch die Gravitation. Die Masse zieht sich an. Weil in der Zentralsonne, von welcher wir ausgegangen sind, ungemein hohe Temperaturen[1]) herrschten, waren dort alle Molekeln einatomig; alle mehratomigen Molekeln mussten dissociiert, in ihre wägbaren Atome aufgelöst worden sein. Vereinigen sich nun in unserer ausgedehntesten Gasmasse bei zufälligen Berührungen solche wägbare Atome wieder zu mehratomigen Molekeln, vermöge der Affinität, so entsteht Licht. Potentielle Energie der wägbaren Materie geht in kinetische Energie derselben über; insbesondere wird aber dabei Energie des Aethers an die wägbare Materie zurückgegeben (S. 35). Die Gasmasse wird leuchtend durch chemische Verbindungen, durch einen Vorgang ähn-

[1]) In Uebereinstimmung mit unseren früheren Annahmen über die Zentralsonne erhalten wir für dieselbe millionenmal höhere Temperaturen, als für unsere Sonne.

lich demjenigen, welcher uns bei dem Verbrennen Licht und Wärme liefert. In derselben herrscht jedoch dabei keine hohe, sondern eine sehr tiefe Temperatur, immer noch annähernd die absolute Temperatur Null, weil bei jenen Verbindungen in der Regel keine fortschreitenden Geschwindigkeiten der neu gebildeten Molekeln entstehen. In dieser Gasmasse befinden sich nur da und dort leuchtende Molekeln, diejenigen nämlich, zu welchen einzelne wägbare Atome sich vereinigt haben und in welchen die Atome von der Vereinigung her gegeneinander schwingen, also Licht ausstrahlen, so lange bis sie ihre kinetische Energie vollständig an den Aether abgegeben haben.

Die Bildung mehratomiger Molekeln geht sehr langsam vorwärts, weil die Wirkung der Gravitationskräfte bei dieser ungeheuren Verdünnung der Gasmasse fast nicht mehr in Betracht kommt. Indessen haben alle wägbaren Atome doch gewisse, wenn auch noch so kleine, fortschreitende Geschwindigkeiten, welche sie durch Zufall mit diesem oder mit jenem anderen wägbaren Atome zur Berührung bringen. Dann aber haften die beiden Atome aneinander, bilden eine Molekel (S. 32).

Nach Maassgabe der zufälligen Begegnungen wägbarer Atome wird das Leuchten der Gasmasse fortgesetzt. Alle möglichen chemischen Verbindungen bilden sich, je nachdem die einen oder die anderen wägbaren Atome gerade zur Berührung gelangen. Denn wegen ihrer geringen fortschreitenden Geschwindigkeiten relativ zu einander haften alle wägbaren Atome bei der Berührung aneinander. Wäre die Bildung chemischer Verbindungen in dieser Gasmasse einstens völlig beendigt, so würde wiederum absolute Finsternis eintreten. Wir hätten dann eine, nicht mehr nur aus dissociierten Molekeln, aus einfachen wägbaren Atomen, sondern aus wirklichen Gas- und Dampfmolekeln bestehende, unermesslich ausgedehnte, nicht leuchtende Gasmasse in unserer Aethersphäre.

Während aber wägbare Atome zusammentreffen, sich vereinigen, geschieht dasselbe auch mit den inzwischen entstandenen Molekeln. Diese haben in gleicher Weise ganz geringe fortschreitende Geschwindigkeiten, berühren sich zufällig, haften dann aneinander, bilden Molekelaggregate, durch Ankristallisieren feste Körperchen. Es entsteht „kosmischer Staub“. Dabei geht auch Energie vom Aether an die wägbare Materie über. Die

gebildeten festen Körperchen erwärmen sich, verlieren aber diese kinetische Energie wieder, indem sie die gewonnene Wärme ausstrahlen, an den Aether zurückgeben. Der entstandene kosmische Staub nimmt in kürzester Zeit die tiefste mögliche Temperatur, die absolute Temperatur Null an.

Die mit kosmischem Staube durchsetzte Gasmasse zieht sich als Ganzes beständig zusammen, wegen der zwischen ihren Teilchen wirkenden Gravitationskräfte, jedoch ausserordentlich langsam, weil diese Teilchen sehr grosse Abstände voneinander haben. Je grösser aber die festen Körperchen geworden sind, welche wir in ihrer Gesamtheit kosmischen Staub nennen, um so grössere Anziehungskräfte üben sie selber vermöge der Gravitation auf ihre nächste Umgebung aus. Sie ziehen aus einem grösseren Umkreise alle wägbare Materie an sich. Diese Materie ballt sich zusammen. Gleichartige Molekeln lagern sich durch Ankristallisieren an, ungleichartige adhärieren an ihnen. Körperchen vereinigen sich zu einem Schwarme, welcher dabei in der Regel eine rotierende Bewegung erhält, aber keinen festen Zusammenhalt besitzt.

Eine feste Verbindung des kosmischen Staubes zu grösseren Körpern, zu Meteoriten, kann erfolgen, wenn etwa durch die Bildung chemischer Verbindungen in den Körperchen eine grosse Wärme entsteht, welche einen Teil derselben dampfförmig macht, und wenn nachher diese Dämpfe gleichzeitig an verschiedene Körperchen ankristallisieren. Solche Vorgänge mögen nicht selten sein. Weil nämlich wägbare Atome in der Gasmasse da und dort chemische Verbindungen eingehen, welche zu Lichtausstrahlungen Veranlassung geben, und weil die mit jenen gleichartigen Atome gerade diese Aetherwellenbewegungen vermöge der Resonanz leichter in sich aufnehmen, als alle anderen, so wird dadurch die Entstehung gleichartiger chemischer Verbindungen überall begünstigt, auch durch die ganze Menge des kosmischen Staubes hindurch.

Immer mehr ballen sich die wägbaren Materien, der kosmische Staub, die Meteoriten zusammen. Es entstehen grössere Anziehungszentren, welche nach und nach so sehr an Masse zunehmen, dass die von allen Seiten herbeigezogene neue Masse schliesslich mit grossen Geschwindigkeiten in der bereits angesammelten Masse ankommt. Dementsprechend treten heftige

Stösse ein, starke Temperaturerhöhungen, Vergasungen. Die durch schwache Affinitätskräfte zusammengehaltenen Atome lösen sich, vereinigen sich statt dessen zu anderen stabileren Verbindungen. Bei fortgesetzt vergrösserter Masse steigert sich die Anziehungskraft eines solchen Anziehungszentrums so sehr, dass immer neue Massen herbeigezogen werden, genügend, um durch ihr fortwährendes Einstürzen die bereits zusammengeballte Masse beständig auf Glühtemperatur zu erhalten.

Diese Masse wird leuchtend, erscheint dem fernen Beobachter als leuchtender Stern, strahlt Licht und Wärme aus. Ein Teil der Masse wird flüssig, es bildet sich eine von einer Atmosphäre eingehüllte Kugel. Stürzt sich immer mehr Masse in dieses Anziehungszentrum hinein, so steigert sich seine Temperatur fortwährend. Die kritische Temperatur wird für eine der vorhandenen Substanzen nach der anderen überschritten. Alle diese Substanzen werden gasförmig. Bei weiter fortgesetzter Temperatursteigerung werden endlich alle gasförmigen Molekeln dissociiert. Entsprechende Energien werden von der wägbaren Materie an den freien Aether zurückgegeben. Der leuchtende Stern verwandelt sich in eine Sonne, wie unsere Sonne, welche fortfährt, immer mehr Masse aus dem umgebenden Raume an sich zu ziehen, kosmischen Staub, Meteoriten und Meteoritenschwärme, Kometen [1]).

In gleichen Zeiträumen haben sich aus der unermesslich verdünnten Gasmasse da und dort solche Sonnen gebildet. Dieselben üben aufeinander ihre anziehenden Kräfte aus. Benachbarte Sonnen kreisen nach Maassgabe sämtlicher wirkenden Kräfte in entsprechenden Kurven umeinander. Stürzen zwei Sonnen ineinander, so geben sie zur Entstehung eines Rotationssystemes Veranlassung, wie unser Sonnensystem ein solches ist.

Wenn die einstmals ganz ausgedehnte Gasmasse eine ziemlich gleichmässige Massenverteilung besass, so werden ungefähr in gleichen Abständen ähnliche Sonnen entstanden sein. Ziehen sich nun diese Sonnen an, kreisen sie umeinander, so werden sich in manchen Fällen zwei derselben zu einem zusammenge-

---

[1]) Unseren Entwickelungen zufolge scheint die Frage nach der gegenwärtigen Zu- oder Abnahme der Temperaturen unserer Sonne noch ungelöst zu sein.

hörigen Systeme, zu einem Doppelsterne verbinden; in anderen Fällen werden mehrere Sonnen zu je einem mehrfachen Sterne vereinigt sein. Wieder andere Sonnen kümmern sich scheinbar kaum um ihre Nachbarn; sie haben durch zufällig einander verstärkende Wirkungen mehrerer Sonnen, an welchen sie vorbeizogen, so grosse Geschwindigkeiten erhalten, dass sie nun, unter Beibehaltung ihrer raschen Bewegung von Stern zu Stern fliegen. An solchen fahren sie mehr oder weniger nahe vorbei, werden durch dieselben in andere Richtungen abgelenkt. Zuletzt aber verlieren sie doch durch zufällig einander verstärkende den früheren entgegengesetzte Wirkungen mehrerer Sonnen ihre übermässigen Geschwindigkeiten, erhalten wieder mittlere Geschwindigkeiten, wie sie den übrigen Sonnen zukommen.

Sonnen stürzen ineinander, immer mächtigere Massenansammlungen kommen zu stande. Immer mehr werden die Sonnen zu starken Elektrizitätsquellen. Sind die abstossenden elektrischen Kräfte, welche die wägbaren Atome einer Sonne aufeinander ausüben, grösser geworden als die sie zusammenhaltenden Gravitationskräfte, so fahren die Atome wieder in die weitesten Entfernungen auseinander. Die Sonne erlischt. Aus ihr entwickelt sich eine, zuerst nicht leuchtende, dann wieder leuchtende, weit ausgedehnte Gasmasse, ein gasförmiger „Nebel“, und dasselbe Spiel beginnt von neuem.

Während solcher Umwandlungen einzelner Sonnen hat die ganze Masse der vorhandenen wägbaren Materie des Weltalls — Sonnen umgeben von kosmischem Staub, von Meteoriten, von Planeten und Satelliten — fortwährend sich kontrahiert, wenn auch wegen der unermesslich grossen Ausdehnungen ausserordentlich langsam. Dennoch kommen die Sonnen einander näher und näher. Immer häufiger stürzen Sonnen ineinander. Schliesslich entsteht durch Zusammenstürzen der letzten grossen Sonnen wieder jene grösste Zentralsonne, welche der Ausgangspunkt unserer Betrachtungen gewesen ist.

Die Materie unseres Weltalls ist demnach periodisch sich wiederholenden Wandlungen unterworfen, wenn durch das Zusammenstürzen aller wägbaren Massen desselben mindestens eine solche Temperatursteigerung und eine so starke Elektrizitätsentwickelung zu stande kommt, dass für die wägbaren Atome

die sie auseinander treibenden elektrischen Kräfte grösser werden als die sie zusammenziehenden Gravitationskräfte. Dann vollzieht sich **im Weltall ewig derselbe Kreislauf der Materie.** Dieser Kreislauf [1]) genügt dem Gesetze von der Erhaltung der Energie.

---

[1]) Für den vollkommenen Kreislauf eines isolierten Systemes lautet der Entropiesatz: $\iint dQ/T = o$ auch dann, wenn die betreffenden Vorgänge nicht umkehrbar sind.

Die Gravitation.

Nach unseren letzten Entwickelungen beruht die Schwerkraft auf einer Differenzwirkung zwischen der allgemeinen Gravitation und der Abstossung elektrisierter Molekeln. Letztere Kraft verschwindet, wenn sich diese Molekeln mit dem freien Aether ihrer Umgebung bezüglich ihres Austausches elektrischer Energie ins Gleichgewicht gesetzt haben, wenn überhaupt kein solcher Austausch mehr stattfindet; vollständig verschwindet sie nur in dem Falle des Verlustes jeder Molekularbewegung wenigstens des einen der zwei in Betracht kommenden Körper. Nur dann erhalten wir die Wirkung der reinen Gravitation zwischen denselben.

Wenn in den Weltkörpern unseres Sonnensystems, in den Planeten und insbesondere in der Sonne solche elektrische Abstossungen schon in wesentlichem Betrage der Gravitation entgegenwirken, so können wir die wirkliche Masse der Sonne nicht in der bisher üblichen Weise ermitteln. Es müssen sich nach Maassgabe der verschiedenen Elektrizitätsausstrahlungen verschiedener Planeten aus ihren Abständen und Umlaufszeiten ungleiche aber stets zu kleine Sonnenmassen ergeben. Nur ein vollkommen kalter Planet erschliesst uns die wahre Sonnenmasse.

Sollen wir uns noch das letzte Ziel stecken, für die Kraft der Gravitation eine Erklärung aufzubringen, nach welcher dieselbe ebensowenig wie die elektrischen und die magnetischen Kräfte auf einer unvermittelten Fernewirkung beruhen würde? Manchem könnte die Annahme einleuchtend erscheinen, die von der Sonne auf die Erde ausgeübte Gravitation als eine Differenzwirkung zwischen ungleich elektrisierten Körpern, etwa der positiv elektrischen Sonne und der negativ elektrischen Erde

aufzufassen. Allein wohin kommen wir mit einer solchen Annahme? Abgesehen von anderen Unzulänglichkeiten versagt dieselbe bei den Aetheratomen, welche nicht an sich elektrisch sein können. Die freien Aetheratome müssten also, wenn sie nicht durch die Gravitation zurückgehalten würden, vermöge ihrer grossen Geschwindigkeiten nach allen Richtungen hin ins Unendliche sich zerstreuen; wir wollten denn voraussetzen, der unendliche Raum sei durchweg mit Aether gleicher Dichte erfüllt, was einen unendlich grossen Vorrat an Aethermaterie erheischen würde.

Wir könnten ferner daran denken, die Hypothese aufzustellen, ausser dem Aether befinde sich ein noch feineres Medium im Raume, und aus irgend einer Eigenschaft dieses Mediums gehe die Gravitation hervor. Allein wie soll dieses neue Medium beschaffen sein, dass es die ungeheuren Geschwindigkeiten der Aetheratome, dass es diejenigen der schliesslich fast ebenso schnell fliegenden grossen Weltkörper ermöglicht? Es muss gasförmig sein! Sind wir zu dieser Einsicht gekommen, so sind wir wieder auf dem Stande der Frage nach der Kraft angelangt, welche den Aether zusammenhält. Denn ohne eine solche zusammenhaltende Kraft würde auch jenes noch feinere gasförmige Medium in die Unendlichkeit sich zerstreuen. Wir haben also mit dieser neuen Hypothese nichts gewonnen; wir ziehen vor, sie nicht aufzustellen.

Die Gravitationskraft hat allerdings mit allen anderen Zentralkräften die Eigenschaft gemein, dem Quadrate des Abstandes der wirkenden Massenteilchen umgekehrt proportional zu sein; sie unterscheidet sich aber dadurch von allen übrigen Kräften, dass sie durch jeden Körper in gleicher Weise hindurchwirkt, durch kein Mittel abgeschwächt oder überhaupt verändert werden kann, und dass eine endliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben noch niemals nachgewiesen werden konnte. Die Gravitationskraft bezeichnen wir deshalb als eine aller Materie an und für sich innewohnende Kraft, für welche uns die mechanische Vorstellung fehlt.

Schluss.

Bei unseren Betrachtungen sind wir von drei Grundannahmen ausgegangen; dieselben lauten:

1. der Raum ist dreidimensional und unbegrenzt;
2. die Materie ist in ihren kleinsten Teilen und in ihrer Gesamtmasse räumlich begrenzt;
3. die Materie zieht sich gegenseitig an, sie gravitiert.

Auf diesen Grundlagen haben wir mit den bekannten Prinzipien der Mechanik aufgebaut, von den kleinsten Atomen des fast unbegreiflich feinen Aethers bis zu den Weltkörpern in ihren ungeheuren Dimensionen. Aus der Gesamtheit aller Materie entwickelten wir das Weltall. Wir kamen zu dem Schlusse, dass die Materie einem fortwährend periodisch sich wiederholenden Kreislaufe, dass das Weltall unendlichen, ewigen Veränderungen unterliegt. Die Kraft aber, welche unsere Erde, welche die Sonnen zerstört, welche die verlorene Bewegung wieder erschafft, wir nennen sie Gravitation. In ihrer Einfachheit ist sie eine stets sich gleich bleibende Kraft, welche der Materie an sich zukommt, ihr innewohnt, unveränderlich, unzerstörbar, wie die Materie selbst, seit allen Zeiten, gegenwärtig und in alle Zeiten dieselbe. Ihre Wirkungsfähigkeit ist eine überaus vielseitige; durch diese ist sie die erhabene, gewaltige Schöpferin ewig sich abwickelnder Naturvorgänge, der Urquell aller Veränderungen im Weltall. In der Gravitation, welche wie ein ewiges Gesetz über aller Materie waltet, welche diese im unendlichen Raume leitet und bewegt, bewundern wir die grossartige, überwältigende Majestät des Unendlichen!